

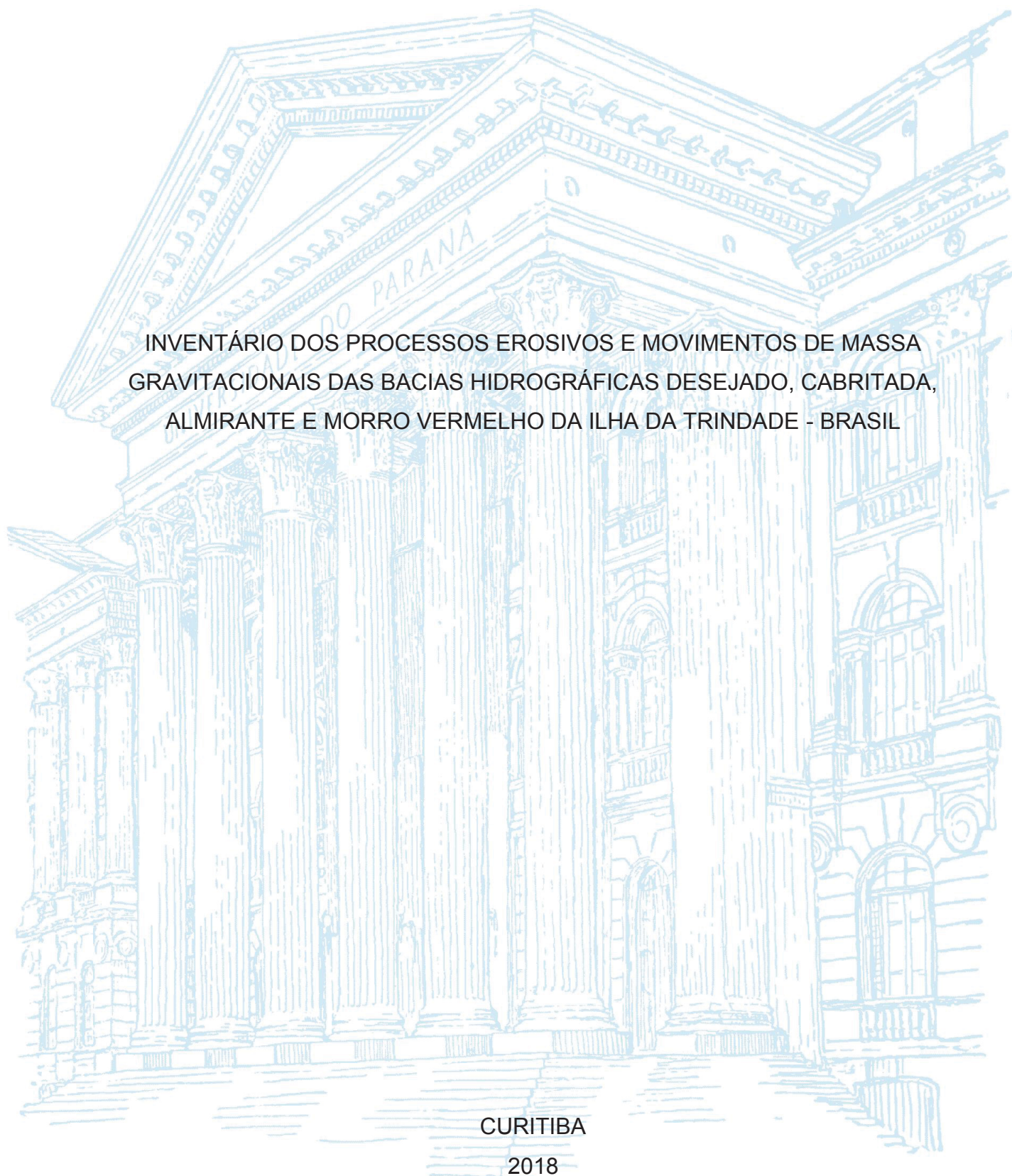
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDA AVELAR SANTOS

INVENTÁRIO DOS PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA
GRAVITACIONAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DESEJADO, CABRITADA,
ALMIRANTE E MORRO VERMELHO DA ILHA DA TRINDADE - BRASIL

CURITIBA

2018



FERNANDA AVELAR SANTOS

INVENTÁRIO DOS PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA
GRAVITACIONAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DESEJADO, CABRITADA,
ALMIRANTE E MORRO VERMELHO DA ILHA DA TRINDADE - BRASIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Lázaro Valentim Zuquette

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S237i Santos, Fernanda Avelar

Inventário dos processos erosivos e movimentos de massa gravitacionais das bacias hidrográficas Desejado, Cabritada, Almirante e Morro Vermelho da Ilha da Trindade - Brasil [recurso eletrônico] / Fernanda Avelar Santos – Curitiba, 2018.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia.

Orientadora: Maria Cristina de Souza

Coorientador: Lázaro Valentim Zuquette

1. Geologia - Ilha da Trindade – BR. 2. Erosão. 3. Movimentos de massa gravitacionais. I. Universidade Federal do Paraná. II. Souza, Maria Cristina de. III. Zuquette, Lázaro Valentim. IV. Título.

CDD: 551.46

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **FERNANDA AVELAR SANTOS** intitulada: **INVENTÁRIO DOS PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DESEJADO, ALMIRANTE, CABRITADA E MORRO VERMELHO DA ILHA DE TRINDADE - BRASIL**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Novembro de 2018.

MARIA CRISTINA DE SOUZA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

CLAUDIA MARISSE DOS SANTOS ROTTA

Avaliador Externo (UFSCAR)

LARISSA DE BRUM PASSINI

Avaliador Externo (UFPR)

Dedico a todas as mulheres da ciência, em especial a você mãe.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia pelas oportunidade e infraestrutura. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo, em períodos distintos. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento da pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Estudos Costeiros do Departamento de Geologia UFPR (LECOST) pela infraestrutura oferecida para o processamento de dados.

Agradeço a Marinha do Brasil pelo apoio e suporte durante os trabalhos de campo.

Agradeço especialmente a professora Maria Cristina de Souza pela dedicação, orientação e tempo despendido para a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores da pós-graduação e graduação pelas discussões e pelo apoio em todas as etapas deste trabalho: Rodolfo José Angulo, Lázaro Valentin Zuquette e Adriana Ahrendt Talamini.

Agradeço aos meus amigos da graduação e pós graduação pelo apoio durante a realização das etapas de campo e pós campo deste estudo: Renata Marianne Santos Pezzi, Maurício Henrique Garcia, Herick Faust Daufenbach, Luis Henrique Sielski de Oliveira, Leonardo Marink Barão e Taily Ferreira Santos Farias.

RESUMO

A Ilha da Trindade (IT) possui localização remota e de difícil acesso, situada no Atlântico Sul (20.5°S, 29.3°W), dista 1140 km da costa brasileira, aproximadamente na altura do paralelo de Vitória – Espírito Santo, fazendo parte no extremo leste da grande cadeia vulcânica submarina (E-W) denominada Cadeia Vitória-Trindade. Trindade é um monte vulcânico alcalino cenozoico escarpado, com aproximadamente 6 km de comprimento, 10 km² de área emersa, 2,5 km de largura e 600 m de altitude máxima. Devido à morfologia e evolução natural da paisagem, a atual ocupação da ilha está suscetível a processos geológicos exógenos, principalmente aos eventos relacionados a processos erosivos decorrentes da ação das águas e de movimentos de massa gravitacionais relacionados à queda e tombamento de blocos de rochas. Portanto, o objetivo desse estudo é determinar o comportamento geodinâmico da área do entorno da ocupação (0,488 km²), a fim de prevenir danos aos ocupantes da ilha e perdas ou danos ao patrimônio. Foram identificadas quatro unidades distintas de acordo com o tipo de feição de terreno e da predisposição aos eventos naturais identificados: 1) Zona 1: vale efêmero no qual foram identificados movimentos de massa gravitacionais, escoamento superficial com fluxo de lama e erosão interna; 2) Zona 2: encosta com predominância de processos erosivos lineares, movimentos de massa gravitacionais e escoamento superficial com fluxo de lama e detritos; 3) Zona 3: encosta onde ocorrem movimentos de massa gravitacionais com transporte e deposição de blocos de rocha (depósitos de tálus) e 4) Zona 4: domos e *necks* vulcânicos preservados com movimentos de massa gravitacionais relacionados a queda e tombamento de blocos de rocha. As zonas 1 e 2 apresentam dinâmica extremamente ativa, onde o solo não tem tempo suficiente para se desenvolver, sendo transportado pela ação das águas das chuvas até o sopé das encostas. Outro indicador que as feições erosivas estão ativas nessas áreas é a escassez de vegetação. A base dos estratos nessas áreas é constituída por rochas epiclásticas sobrepostas por rochas piroclásticas, nas quais as porções mal selecionadas, apresentam maior grau de intemperismo. As rochas do topo da sequência, os ankaratritos (nefelinitos) fraturados, mais resistentes aos processos intempéricos, permitem que a água percole com facilidade até os estratos inferiores. Portanto ocorre o processo de erosão diferencial, onde o tipo de rocha vulcânica e o grau de seleção,

que no caso são as rochas epiclásticas e piroclásticas ambas mal selecionadas, os condicionantes de instabilidade nas encostas. Os fluxos dos blocos relacionados às zonas 3 e 4 aparentemente estão estáveis, no entanto existe a possibilidade de instabilização do conjunto no qual a direção desses fluxos e a área de deposição se estendem até as edificações colocando a ocupação em situação vulnerável.

Palavras-chave: Processos naturais. Movimentos de massa gravitacionais. Erosão. Fonte de eventos perigosos.

ABSTRACT

The Trindade Island is located in the Southern Atlantic Ocean (20.5°S, 29.3°W) distant 1140 kilometers east from the coast of Espírito Santo, Brazil, and constitutes the easternmost of the Vitória Trindade submarine volcanic chain (E-W). Trindade is a Cenozoic alkaline volcanic mountain, it's 6 km long, with 10 km² of emerge area, 2,5 km wide and 600 m of maximum altitude. Due to its morphology and natural evolution of the landscape the occupation of the island is susceptible to exogenous geologic processes, mainly to erosive events and landslide. Therefore, the main goal of this study is to determine the geodynamic behavior, in the 1:1.500 scale, of the occupation area (0,488 km²), to prevent lost and damages to the occupants and the patrimony. The environmental mapping methodology was adopted, developed by the Engineering School of São Carlos of University of São Paulo (EESC-USP), which consist in the elaboration of a hierarchy sequence of maps, defined by eight levels. In this study was defined the first basic fundamental level, which consist in records the characteristics of the physical, biological and anthropogenic components, through the spatial variation of the attributes. Four geotechnical zones were identified according to the type of the features of the ground and the predisposition to the natural events identified: 1) 1st Zone: ephemeral valley where landslides, superficial mud flow and pipping were identified; 2) 2nd Zone: slope where linear erosive processes predominate with landslides, mud and debris flow associated; 3) 3rd Zone: slope where occur landslide with transport and deposition of rock blocks (talus deposits); 4) 4th Zone: remnant volcanic domes and necks with landslides related to fall and tipping of rock blocks. The 1st and 2nd zones present an extremely active dynamic where the soil have not enough time to develop, being transported by the action of rain water to the bottom of the slopes. Another indicator of the activity of the erosive features is the scarcity of vegetation. The base of the layers is constituted by epiclastic rocks overlaid by pyroclastic rocks in which the poorly selected portions present a higher grade of weathering. The top of the sequence is made by fractured nephelinites, more resistant to weathering processes, which allows the percolation of water to the lower layers. Thus, it characterizes differential erosion process in which the type of volcanic rock and the selection grade, in this case the poorly selected epiclastic and pyroclastic rocks are the conditioners to slope instability. The block deposits of 3rd and 4th zones are

apparently stable, however is possible the instability of the set of rocks, in which the flow direction and deposition area extend to the occupation, making it vulnerable.

Keywords: Natural processes. Landslides. Erosion. Hazards.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1: A) LOCALIZAÇÃO DA IT NO EXTREMO LESTE DA CADEIA VULCÂNICA VITÓRIA – TRINDADE E B) PANORAMA GEOMORFOLÓGICO GERAL COM DESTAQUE EM VERMELHO PARA ÁREA DA OCUPAÇÃO, LOCALIZADA NO SETOR LESTE E MAIS PLANO DA IT (IMAGENS: GOOGLE EARTH 2005).....	19
FIGURA 2-1: MAPA GEOLÓGICO DA ILHA DA TRINDADE (PIRES 2013).....	21
FIGURA 2-2: COLUNA CRONOESTRATIGRÁFICA DOS DEPÓSITOS VULCÂNICOS DA IT (MODIF. DE SANTOS ET AL. 2018).	22
FIGURA 2-3: A) TOPOGRAFIA E BATIMETRIA DA ILHA DA TRINDADE (MODIF. DE ANGULO ET AL. 2016); B) IT VISTA EM PERFIL COM DESTAQUE PARA OS PICOS MAIS ELEVADOS (FOTOGRAFIA: 2018).	23
FIGURA 2-4: CONE DE ESCÓRIAS PRESERVADO DO VULCÃO DO PAREDÃO LOCALIZADO NA PORÇÃO SUL DA ILHA (FOTOGRAFIA: 2018).....	23
FIGURA 2-5: PANORAMA GERAL DA HETEROGENEIDADE GEOMORFOLÓGICA E GEOLÓGICA DA IT (IMAGEM AÉREA: GOOGLE EARTH 2005 E FOTOGRAFIAS: 2018).	24
FIGURA 2-6: MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO.	25
FIGURA 2-7: AFLORAMENTO DE FONOLITOS NO <i>NECK</i> PRESERVADO DO COMPLEXO TRINDADE, CONHECIDO COMO O PICO PRETO (FOTOGRAFIA: 2018).	26
FIGURA 2-8: AFLORAMENTO DA FMV, ONDE OBSERVA-SE NO TOPO O ANKARATRITO COM A SUA COR ORIGINAL AINDA PRESERVADA EM CONTATO COM OS SAPRÓLITOS DE ROCHAS PIROCLÁSTICAS DA CAMADA INFERIOR (FOTOGRAFIA 2018).	27
FIGURA 2-9: PARTE DA ENCOSTA QUE MOSTRA O <i>NECK</i> E O DOMO DA FMV E OS DEPÓSITOS DE TÁLUS FONOLÍTICOS (FOTOGRAFIA: 2018).....	28
FIGURA 2-10: VISTA PANORÂMICA DA ÁREA DE OCUPAÇÃO LOCALIZADA A JUSANTE DE PROCESSOS NATURAIS ATIVOS (FOTOGRAFIA: 2018).	29
FIGURA 2-11: MAPA DE LINEAMENTOS DA ÁREA DE ESTUDO.	30
FIGURA 2-12: DETALHES DE PARTEDA INFRAESTRUTURA MANTIDA ATUALMENTE PELA MARINHA NA IT: A) ESTAÇÃO CIENTÍFICA DA ILHA DA TRINDADE (ECIT); B) ALOJAMENTO MILITAR; C) ENFERMARIA; D) MUSEU E	

E) ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA ILHA DA TRINDADE (EMIT) (FOTOGRAFIAS: 2017).	31
FIGURA 2-13: VEGETAÇÃO NA IT: A) REGIÃO DO MORRO VERMELHO SEM VEGETAÇÃO EM 1998; B) RECUPERAÇÃO DA VEGETAÇÃO NO MESMO LOCAL APÓS A EXTINÇÃO DOS ANIMAIS NÃO ENDÊMICOS EM 2004 (MARINHA DO BRASIL 2004).	32
FIGURA 2-14: MAPA QUE ELUCIDA A OCORRÊNCIA DE <i>GUILANDINA BONDUC</i> COM HALOS DE EROÇÃO AO SEU REDOR NA PORÇÃO LESTE DA ÁREA DE ESTUDO (FOTOGRAFIA AÉREA: MARINHA DO BRASIL 2011).	32
FIGURA 3-1: ESQUEMA DE EROSÕES DECORRENTES DA AÇÃO DAS ÁGUAS E FEIÇÕES RESULTANTES (MODIF. DE ROTTA E ZUQUETTE 2015).	34
FIGURA 3-2: ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS TIPOS DE MOVIMENTOS DE TERRENOS (MODIF. DE <i>U.S GEOLOGICAL SURVEY</i> 2004).	38
FIGURA 4-1: FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.	40
FIGURA 4-2: CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS PROPOSTO POR ZUQUETTE (2004).	43
FIGURA 4-4: A) PLUVIÓGRAFO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA ILHA DA TRINDADE; B) DETALHE DO GRÁFICO DO EQUIPAMENTO QUE FAZ O REGISTRO DAS CHUVAS A CADA DUAS HORAS.	45
FIGURA 4-5: DETALHAMENTO DA TOPOGRAFIA EM CAMPO UTILIZANDO O EQUIPAMENTO RTK <i>STONEX PLUS 8</i> .	46
FIGURA 4-6: AMOSTRAS COLETADAS PARA AS ANÁLISES LABORATORIAIS.	47
FIGURA 5-1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ANÁLISE DO PRESENTE ESTUDO NA ILHA DA TRINDADE (IMAGEM AÉREA: MARINHA DO BRASIL, 2011).	55
FIGURA 5-2: MAPA COM DESTAQUE PARA AS UNIDADES DE ANÁLISE DO PRESENTE ESTUDO (ESCALA 1: 1500).	59
FIGURA 5-3: SEÇÃO A – A' ESQUEMÁTICA DO VALE EROSIVO.	60
FIGURA 5-4: IMAGENS DE 2005, 2011, 2014 E 2015, PARA ANÁLISE TEMPORAL DA DESEMBOLCADURA DO VALE EROSIVO.	61
FIGURA 5-5: SEÇÃO B – B' ESQUEMÁTICA DA ENCOSTA DA UNIDADE 2.	62
FIGURA 5-6: IMAGENS DE: 2005, 2011, 2014 E 2015 PARA ANÁLISE TEMPORAL DA ENCOSTA. OS TRACEJADOS EM AMARELO LIMITAM A VEGETAÇÃO E	

EM VERMELHO O LIMITE DA VEGETAÇÃO EM RELAÇÃO AS EDIFICAÇÕES.	63
FIGURA 5-7: ENCOSTA COM DESTAQUE PARA ÁREA ATIVA DA ENCOSTA E AS DIREÇÕES DA CURVATURA DO TERRENO (FOTOGRAFIA: 2018).	64
FIGURA 5-8: SEÇÃO ESQUEMÁTICA C - C' DA UNIDADE 3.	65
FIGURA 5-9: IMAGENS DE 2005, 2011, 2014 E 2015 PARA ANÁLISE TEMPORAL DA ENCOSTA.	66
FIGURA 5-10: LOCALIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS VULCÂNICAS (NECKS E DOMO) AINDA PRESERVADAS QUE CONSTITUEM ESSA ZONA. D = DIÂMETRO, E= ELEVAÇÃO E P = PERÍMETRO (FOTOGRAFIA: 2018).	67
FIGURA 6-1: MAPA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ILHA DA TRINDADE.	71
FIGURA 6-2: MAPA DA ATUALIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DA ÁREA DE ESTUDO.	72
FIGURA 6-3: DETALHE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS: A) BACIA DESEJADO; B) BACIA CABRITADA; C) DESEMBOLCADURA DA BACIA ALMIRANTE; D) E E) REFERENTES A BACIA MORRO VERMELHO (FOTOGRAFIAS: ABRIL DE 2018).	73
FIGURA 6-4: ESPÉCIES MAPEADAS NA ÁREA DE ESTUDO: A) <i>PITYROGRAMMA CALOMELANOS</i> ; B) <i>CYPERUS ATLANTICUS</i> ; C) <i>TERMINALIA CATAPPA</i> ; D) <i>GUILANDINA BONDUC</i> E E) <i>IPOMOEAE PES-CAPRAE</i> .	74
FIGURA 6-5: PROCESSO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (FOTOGRAFIA: ABRIL DE 2018).	75
FIGURA 6-6: A) E B) MOSTRAM O FUNDO DO VALE NA REGIÃO DE MAIOR ALTITUDE (FOTOGRAFIAS: 2018).	76
FIGURA 6-7: AS FIGURAS A E B MOSTRAM O PROCESSO ATIVO DE FLUXO DE LAMA, DURANTE AS CHUVAS OCORRIDAS NO DIA 17 DE ABRIL DE 2018 (FOTOGRAFIAS: 2018).	77
FIGURA 6-8: AS FIGURAS A E B MOSTRAM O PROCESSO ATIVO DE FLUXO DE LAMA, DURANTE AS CHUVAS OCORRIDAS NO DIA 27 DE MAIO DE 2018 (FOTOGRAFIAS: 2018).	77
FIGURA 6-9: A ÁREA DELIMITADA EM VERMELHO INDICA A LOCALIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE SAÚDE (ENFERMARIA), ASSIM COMO A FRIGORÍFERA, PAIOL DE MERGULHO E MARCENARIA, TODAS MUITO PRÓXIMAS DO VALE (SETA PRETA) (FOTOGRAFIA: 2017).	78

FIGURA 6-10: AS FIGURAS A, B E C MOSTRAM OS DEPÓSITOS DE ENTULHOS, QUE SÃO PRINCIPALMENTE RELACIONADOS COM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, NA FOZ DO VALE. NOTAR QUE NA FIGURA B) O FLUXO DE LAMA TEVE VELOCIDADE E INTENSIDADE SUFICIENTE PARA DESLOCAR A ÁRVORE, BLOCOS DE ROCHAS E ENTULHOS (FOTOGRAFIA: 2018).78
FIGURA 6-11: MODELAGEM DO TERRENO POR TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO ATRAVÉS DOS DADOS OBTIDOS PELO LEVANTAMENTO DO TERRENO PELO RTK. OS PERFIS MOSTRAM A DIFERENÇA ENTRE O LEVANTAMENTO DE DETALHE (A-A') E OS DADOS PRÉ EXISTENTES (B-B') DA TOPOGRAFIA.80
FIGURA 6-12: PROCESSO DE RASTEJO OBSERVADO PELA INCLINAÇÃO DAS ÁRVORES NA ENCOSTA (A, B E C) (FOTOGRAFIAS: 2018).81
FIGURA 6-13: A) AFLORAMENTO RECOBERTO POR CAMADA CENTIMÉTRICA DE SOLO TRANSPORTADO; B) AFLORAMENTO COM AUSÊNCIA DE SOLO NO TOPO DA SEQUÊNCIA; C) DETALHE DO SOLO PEDREGULHOSO TRANSPORTADO ATÉ O FUNDO DA RAVINA (FOTOGRAFIAS: 2018).82
FIGURA 6-14: AFLORAMENTO DE BRECHAS DA FMV (FOTOGRAFIAS: 2018).	..83
FIGURA 6-15: AFLORAMENTO EM VERTENTE DE RAVINA (FOTOGRAFIA: 2018).84
FIGURA 6-16: A) E B) ESFOLIAÇÃO ESFEROIDAL; D) VARIAÇÃO DE DENSIDADE DE VESÍCULAS NOS ANKARATRITOS (FOTOGRAFIAS: 2018).85
FIGURA 6-17: O TRACEJADO INDICA O LIMITE DA ENCOSTA DA UNIDADE 3 QUE POSSUI UMA AMPLITUDE DE 315 M. OS INDICADORES 1 E 2 MOSTRAM A LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE 1 E 2, RESPECTIVAMENTE. NA IMAGEM TAMBÉM ESTÁ EM DESTAQUE OS PICOS PRETO, PONTUDO E GRAZINA QUE PERTENCEM A UNIDADE 4 (FOTOGRAFIA: 2017).86
FIGURA 6-18: A) MOSTRA OS DEPÓSITOS DE TÁLUS QUE RECOBREM O TERRENO, ESTES PROVENIENTES DO PICOS PRETO E GRAZINAS NESSE SETOR DA ENCOSTA. A SETA BRANCA INDICA A LOCALIZAÇÃO DA DRENAGEM PERENE DA BACIA DO DESEJADO; B) OS TRACEJADOS EM AMARELO INDICAM OS DEPÓSITOS SUBMODERNOS QUE SE DESTACAM NO TERRENO QUE ESTÃO SENDO RECOBERTOS PELOS DEPÓSITOS RECENTES (FOTOGRAFIA: 2018).87

FIGURA 6-19: A) O TRACEJADO DELIMITA OS DEPÓSITOS RECENTES DE BLOCOS QUE RECOBREM A ENCOSTA. A ÁREA DE DEPÓSITO DESSES BLOCOS CHEGAM ATÉ A OCUPAÇÃO (SETAS VERMELHAS); B) DETALHE DA PROXIMIDADE DO DEPÓSITO DE BLOCOS COM AS EDIFICAÇÕES (FOTOGRAFIA: 2018).....	87
FIGURA 6-20: PANORÂMICA DA ENCOSTA NA QUAL OS BLOCOS SE DEPOSITAM. OS BLOCOS COM OS MAIORES DIÂMETROS ESTÃO INDICADOS NA IMAGEM (FOTOGRAFIA: 2017).	88
FIGURA 6-21: VEGETAÇÃO RASTEIRA ENTRE OS DEPÓSITOS DE BLOCOS (FOTOGRAFIA: 2018).....	88
FIGURA 6-22: NA FIGURA ESTÃO INDICADAS, NO AFLORAMENTO DO PICO PRETO, PELAS LINHAS COLORIDAS, AS PRINCIPAIS FAMÍLIAS DE FRATURAS IDENTIFICADAS EM CAMPO, ESTAS QUE APRESENTAM UMA DIREÇÃO PREFERENCIAL NW (FOTOGRAFIA: 2018).....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: UNIDADES PREDISPONÍVEIS A EVENTOS PERIGOSOS.

58

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

MMG	- Movimentos de massa gravitacionais
IT	- Ilha da Trindade
RTK	- <i>Real time kinematic</i>
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
BD	- Bacia Hidrográfica Desejado
BA	- Bacia Hidrográfica Almirante:
BC	- Bacia Hidrográfica Cabritada
BMV	- Bacia Hidrográfica Morro Vermelho
CT	- Complexo de Trindade
FMV	- Formação Morro Vermelho
EMIT	- Estação Meteorológica da Ilha da Trindade
TIN	- Triangulação irregular de grade (<i>Triangulated Irregular Network</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.3 ÁREA DE ESTUDO	18
1.3.1 Localização da Ilha da Trindade	18
1.3.2 Delimitação da área de estudo	19
2 CONTEXTUALIZAÇÃO	21
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO	21
2.1.1 Ilha da Trindade	21
2.1.2 Área de estudo.....	24
2.2 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO	30
3 ASPECTOS CONCEITUAIS	33
3.1 PROCESSOS EROSIVOS	33
3.2 MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS (MMG).....	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 PLANEJAMENTO.....	41
4.1.1 Fotointerpretação	41
4.1.2 Levantamento de campo (etapa I)	41
4.1.3 Delimitação da escala de trabalho	42
4.1.4 Delimitação da área de estudo	42
4.1.5 Determinação dos atributos	42
4.2 OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES.....	43
4.2.1 Levantamento de campo (etapa II)	44
4.2.2 Ensaios de laboratório	46
4.2.2.1 Caracterização geotécnica dos solos	47
4.2.2.2 Caracterização química dos solos	48
4.3 PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS OBTIDOS	48
4.3.1 Banco de dados	48
4.3.2 Geoprocessamento dos dados obtidos.....	48
4.3.3 Tratamento de dados RTK.....	48

4.3.4 Definição das áreas predisponíveis aos eventos	49
4.3.5 Análise temporal de feições	50
5 RESULTADOS.....	51
5.1 ARTIGO: Inventário de processos naturais nas bacias Desejado, Almirante, Cabritada e Morro Vermelho na Ilha da Trindade – Brasil.....	51
RESUMO.....	51
5.1.1 INTRODUÇÃO	52
5.1.2 ÁREA DE ESTUDO	53
5.1.3 MATERIAIS E MÉTODOS	56
5.1.3.1 Critérios de classificação.....	56
5.1.3.2 Fotointerpretação.....	56
5.1.3.3 Definição das áreas predisponíveis aos eventos.....	56
5.1.3.4 Análise temporal de feições.....	57
5.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5.1.4.1 Unidade 1.....	59
5.1.4.2 Unidade 2.....	62
5.1.4.3 Unidade 3.....	64
5.1.4.4 Unidade 4.....	67
5.1.5 CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS	68
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO COMPLEMENTARES	71
5.2.1 ÁREA DE ESTUDO E IMPLICAÇÕES HIDROGEOLÓGICAS.....	71
5.2.2 COBERTURA VEGETAL DA ÁREA DE ESTUDO	73
5.2.3 UNIDADES PREDISPONÍVEIS AOS PROCESSOS PERIGOSOS	74
5.2.3.1 Unidade 1.....	74
5.2.3.2 Unidade 2.....	79
5.2.4 Unidade 3	85
5.2.5 Unidade 4	89
5.2.6 CONCLUSÕES.....	90
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	92
ANEXO 1: FICHA DE CAMPO.....	98

ANEXO 2: MAPA DE INVENTÁRIO DE FEIÇÕES EROSIVAS E MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS.....	99
---	----

ANEXO 3: MAPA DE INVENTÁRIO DE cobertura vegetal.....	100
---	-----

1 INTRODUÇÃO

Estudos geológicos-geotécnicos destinados à análise das fontes dos eventos perigosos de natureza geológica, tanto em regiões continentais quanto oceânicas, são de grande importância para o planejamento territorial de uma região, a fim de diminuir os impactos negativos decorrentes desses eventos e aumentar a capacidade de enfrentamento e adaptação da ocupação para prevenir perdas sociais e econômicas (Zuquette 2015, 2018).

Os movimentos de massa gravitacionais (MMG) e os processos erosivos são problemas geoambientais comuns em regiões de ilhas oceânicas, visto a alta taxa de exposição dessas zonas, geralmente montanhosas, aos agentes intempéricos e erosivos.

Visto que a localização da infraestrutura e das atividades antropogênicas na Ilha da Trindade (IT) estão localizadas próximas as áreas que possuem processos naturais ativos ou com possibilidade de instabilização, investigações com abordagem geológicos-geotécnicos são necessários nessa região.

Entre os trabalhos mais recentes de análise de eventos perigosos (Hernandez et al. 2012; Kouli et al. 2014; Ventisette et al. 2014; Tsangaratos et al. 2018), destacam-se abordagens que reúnem os atributos condicionantes dos eventos perigosos em um inventário, etapa que compreende o presente estudo.

Desta forma, o objetivo principal deste estudo foi a elaboração do inventário de feições referentes aos processos naturais de erosão e MMG, numa escala de detalhe (1:1.500), a fim de caracterizar e compreender os mecanismos deflagradores dos processos perigosos em quatro bacias hidrográficas que compreendem a zona de ocupação na IT. Para tanto, foram utilizadas técnicas de investigação e mapeamento geológico-geotécnico, monitoramento de feições ativas e armazenamento dos resultados obtidos no banco de dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Portanto, os mapas e o banco de dados referentes ao inventário servem como embasamento técnico para as futuras análises de suscetibilidade a eventos perigosos e planejamento territorial da ilha.

Este documento está organizado em oito tópicos. O primeiro denominado introdução, engloba a caracterização do problema, justificativas, objetivos, assim como a localização da área de estudo. O segundo é a contextualização seguido dos

principais aspectos conceituais presentes no terceiro tópico. O quarto tópico explicita detalhadamente os materiais e métodos do presente estudo. Os resultados estão divididos em duas partes no capítulo 5: o item 5.1 trata dos resultados em forma de artigo seguido das referências bibliográficas e o item 5.2 trata dos resultados e discussão complementares. E por fim, estão expostas as considerações finais relevantes referentes à pesquisa desenvolvida e as referências utilizadas durante o presente estudo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A IT é o território brasileiro mais remoto e de difícil acesso, sendo mantida pela Marinha do Brasil, a fim de garantir a soberania territorial, uma infraestrutura para uma ocupação permanente e rotativa de aproximadamente 30 pessoas no setor leste da ilha.

Nesse contexto não convencional, as autoridades necessitam de uma investigação geológica-geotécnica adaptada a essa realidade, que gere um produto palpável para tomadas de medidas preventivas e/ou de remediação frente aos processos perigosos. Dessa maneira, a delimitação da área de enfoque do presente estudo, compreende as bacias hidrográficas nas quais os elementos antropogênicos estão inseridos, pois se trata da região que configura um cenário de perdas de patrimônio e vida humanas caso processos naturais sejam deflagrados.

Além disso, esse é o primeiro estudo de caracterização de eventos perigosos na IT, portanto esse trabalho também visa contribuir com o desenvolvimento de métodos e técnicas que poderão ser aplicadas em outras regiões montanhosas e problemáticas do Brasil, já que a área de estudo na IT possui alto grau de exposição dos eventos, tornando-se uma excelente área piloto para execução de técnicas de campo e monitoramento.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é determinar o comportamento geodinâmico da área de estudo, considerando os processos erosivos e movimentos de massa gravitacionais, para tanto os objetivos específicos são:

1. Identificar, classificar e quantificar os eventos naturais;

2. Definir a distribuição espacial e em profundidade dos eventos;
3. Elaborar um mapa de inventário de vegetação e de feições erosivas e MMG na escala 1:1500.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

1.3.1 Localização da Ilha da Trindade

Trindade é uma ilha oceânica situada no Atlântico Sul (20.5°S , 29.3°W), dista 1140 km da costa brasileira, aproximadamente na altura do paralelo de Vitória - ES, fazendo parte no extremo leste da grande cadeia vulcânica submarina (E-W) denominada Cadeia Vitória - Trindade (Figura 1-1 a). É, portanto, um monte vulcânico alcalino cenozoico e escarpado, com aproximadamente 6 km de comprimento, 10 km² de área emersa, 2,5 km de largura e 600 m de altitude máxima (Figura 1-1 b).

Os elementos construídos e a ocupação antropogênica localizam-se no setor leste próximos a costa, destacado em vermelho na figura 1b, que caracteriza-se por ser a região mais viável de ser ocupada justamente por ser a mais plana da ilha.

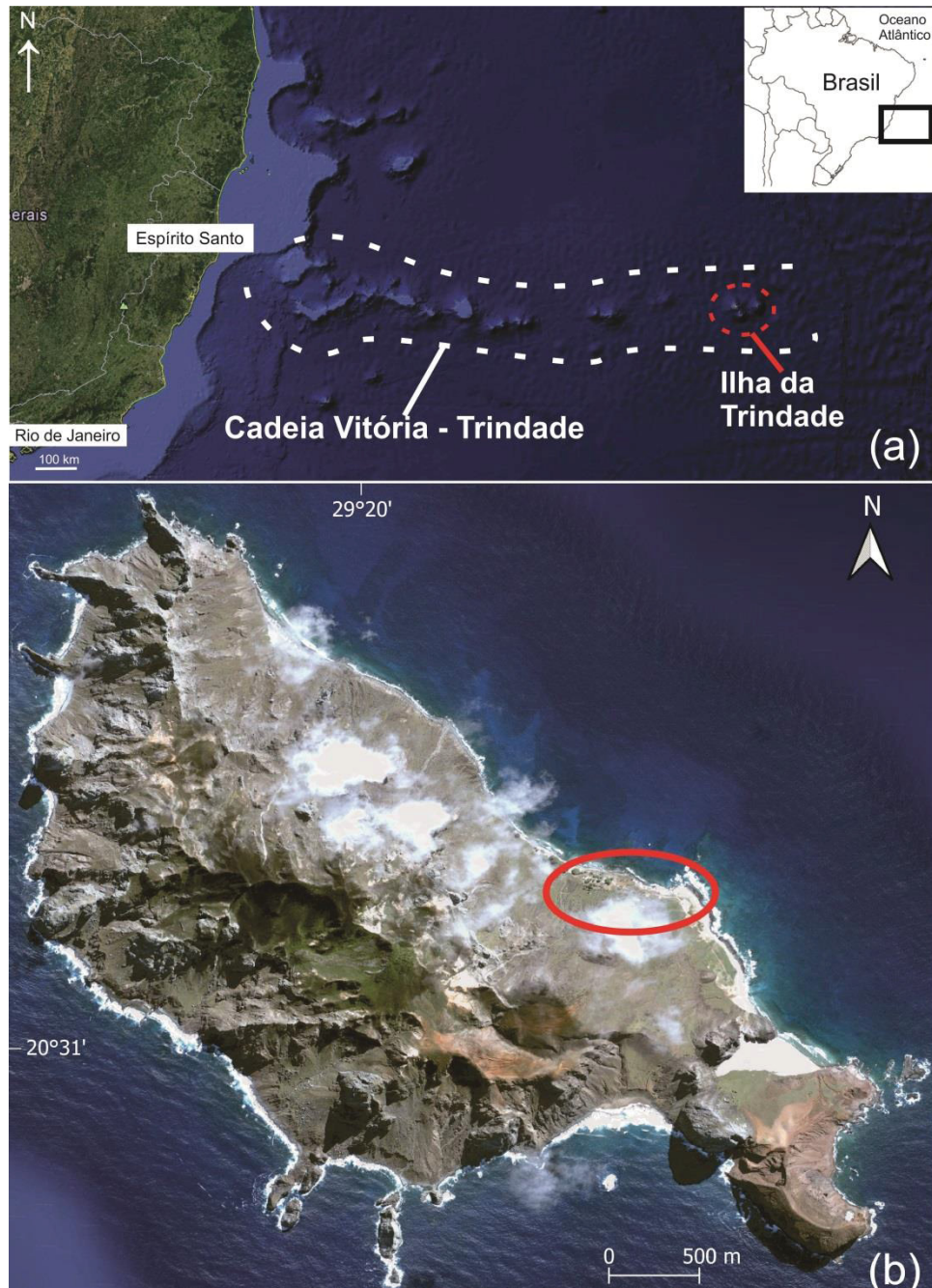


Figura 1-1: a) Localização da IT no extremo leste da Cadeia vulcânica Vitória – Trindade e b) panorama geomorfológico geral com destaque em vermelho para área da ocupação, localizada no setor leste e mais plano da IT (Imagens: Google Earth 2005).

1.3.2 Delimitação da área de estudo

A zona onde está localizada a infraestrutura da ocupação está a jusante de quatro bacias hidrográficas constituídas por drenagens de até segunda ordem pela classificação de Strahler (1957), denominadas neste trabalho como: Desejado, Almirante, Cabritada e Morro Vermelho.

A partir dessas bacias, a área de estudo foi delimitada (0,488 km²) para a análise dos eventos naturais potencialmente perigosos para os ocupantes. Foi adotada a escala da classe local (1:1.500) para os levantamentos de dados e elaboração dos mapas de vegetação e de feições, por ser a escala mais adequada em relação a dimensão da área de investigação e também devido à proximidade dos processos em relação à ocupação, o que exige uma investigação de detalhe. Para o geoprocessamento das imagens temporais (2005, 2006, 2011, 2014 e 2015), estas as únicas disponíveis, e em diferentes resoluções, foi adotada a escala de 1: 300, por ser a mais adequada para identificar os aspectos de interesse.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

2.1.1 Ilha da Trindade

A IT apresenta cinco episódios vulcânicos constituídos por derrames e depósitos piroclásticos e diques fonolíticos denominados (Figura 2-1): Complexo de Trindade (CT), Sequência Desejado, Formação Morro Vermelho (FMV), Formação Valado e Vulcão do Paredão (Almeida 1961). A Figura 2-2 mostra a cronoestratigráfica desses depósitos vulcânicos.

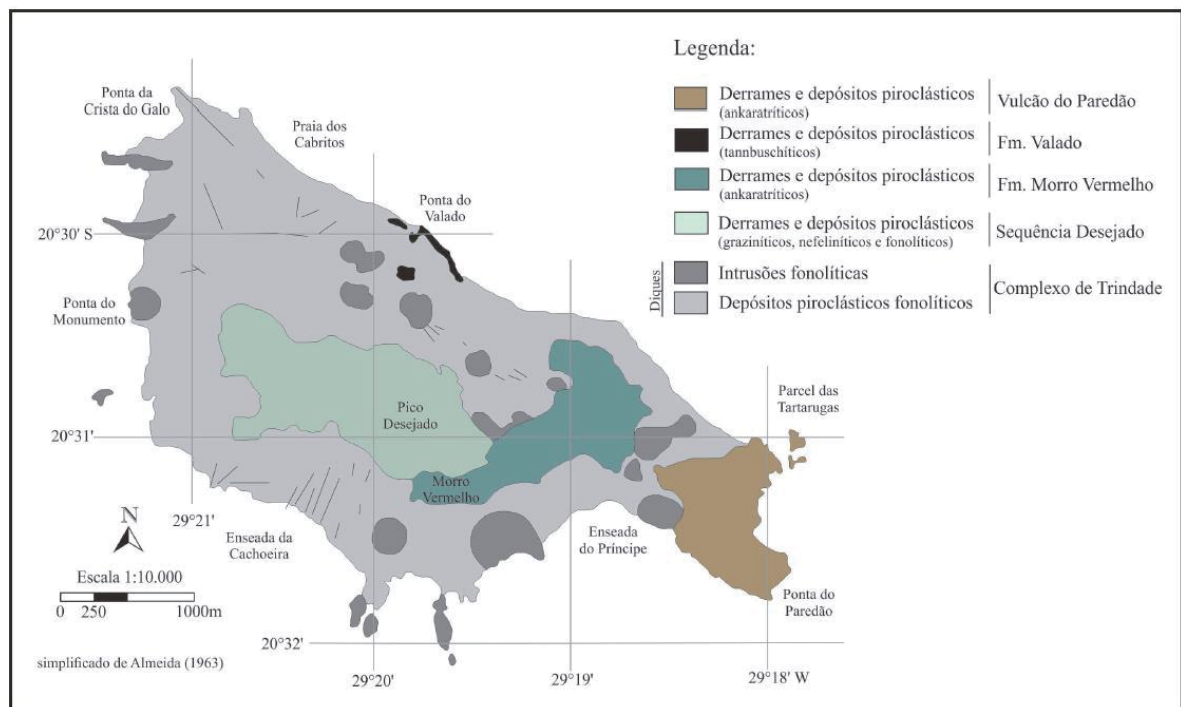


Figura 2-1: Mapa geológico da Ilha da Trindade (Pires 2013).

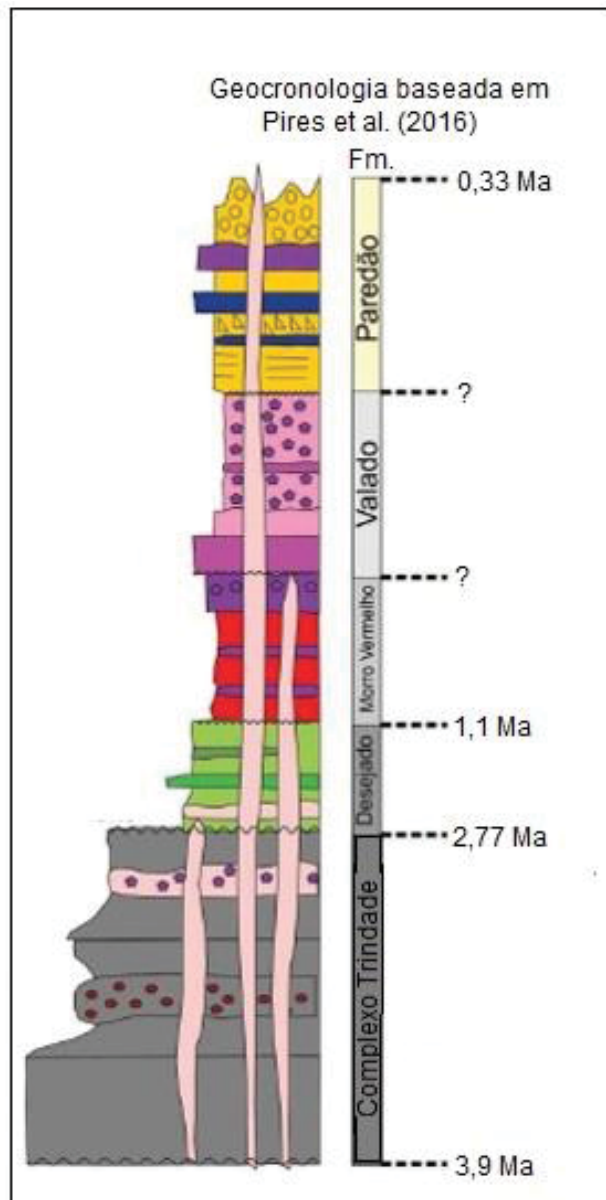


Figura 2-2: Coluna cronoestratigráfica dos depósitos vulcânicos da IT (modif. de Santos et al. 2018).

O relevo atual da IT é resultado da erosão acentuada do edifício vulcânico (Figura 2-3 a, b), com exceção do cone de escórias do Vulcão do Paredão, que ainda encontra-se parcialmente preservado (Figura 2-4). Os diversos morros íngremes da ilha correspondem aos anteriores *necks* vulcânicos (Almeida 1961). Os depósitos de taludes, cones e leques aluviais circundam as encostas íngremes e podem se estender até o mar (Angulo et al. 2018).

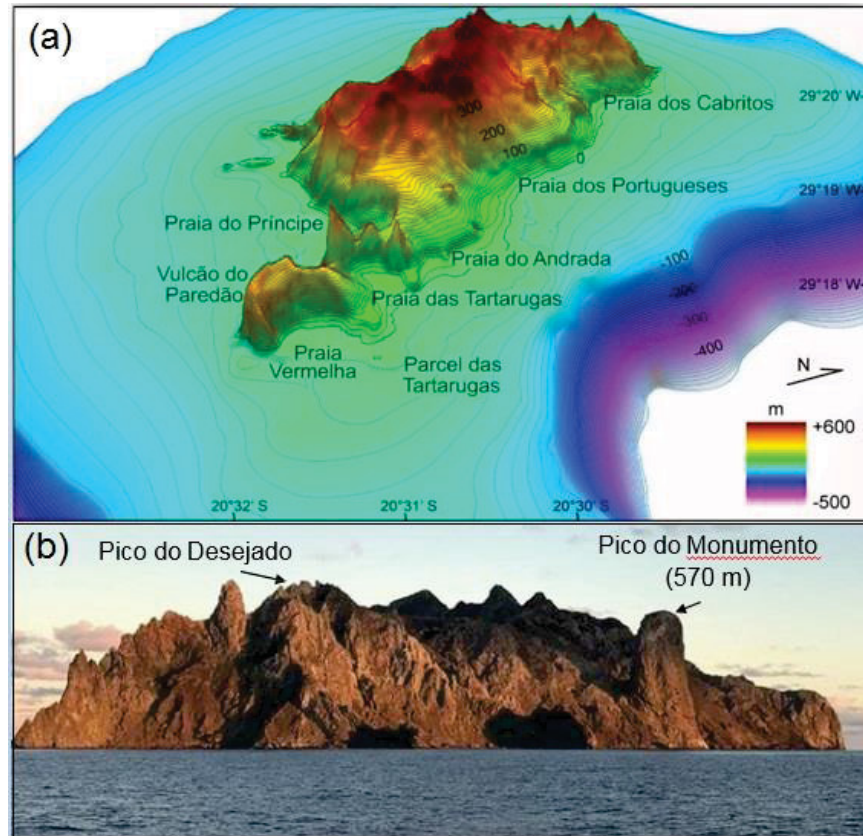


Figura 2-3: a) Topografia e batimetria da Ilha da Trindade (modif. de Angulo et al. 2016); b) IT vista em perfil com destaque para os picos mais elevados (Fotografia: 2018).



Figura 2-4: Cone de escórias preservado do Vulcão do Paredão localizado na porção sul da ilha (Fotografia: 2018).

Portanto, a estrutura do edifício vulcânico caracteriza-se pela sua heterogeneidade geomorfológica (relevo assimétrico) e geológica. Na qual existem rochas vulcânicas (fonolitos e ankaratritos) que apresentam mais resistência ao

intemperismo mas se desagregam mecanicamente em blocos de rochas (dimensões centimétricas até dezenas de metros) retalhados por juntas (Almeida 1961), processo geomecânico semelhante ao que ocorrem nos basaltos do continente brasileiro, e por rochas piroclásticas que geralmente apresentam alta erodibilidade (Figura 2-5).

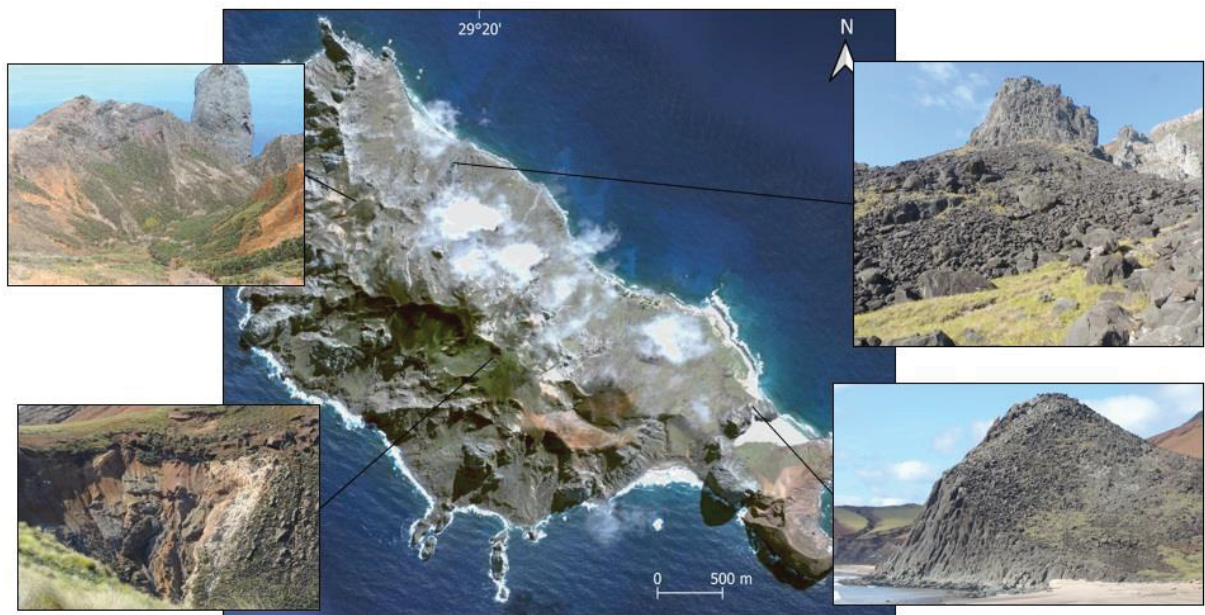


Figura 2-5: Panorama geral da heterogeneidade geomorfológica e geológica da IT (Imagem aérea: Google Earth 2005 e fotografias: 2018).

2.1.2 Área de estudo

Na área de estudo ocorrem o Complexo Trindade (CT), Formação Morro Vermelho (FMV) e os depósitos recentes do quaternário que recobrem grande parte da área (Figura 2-6).

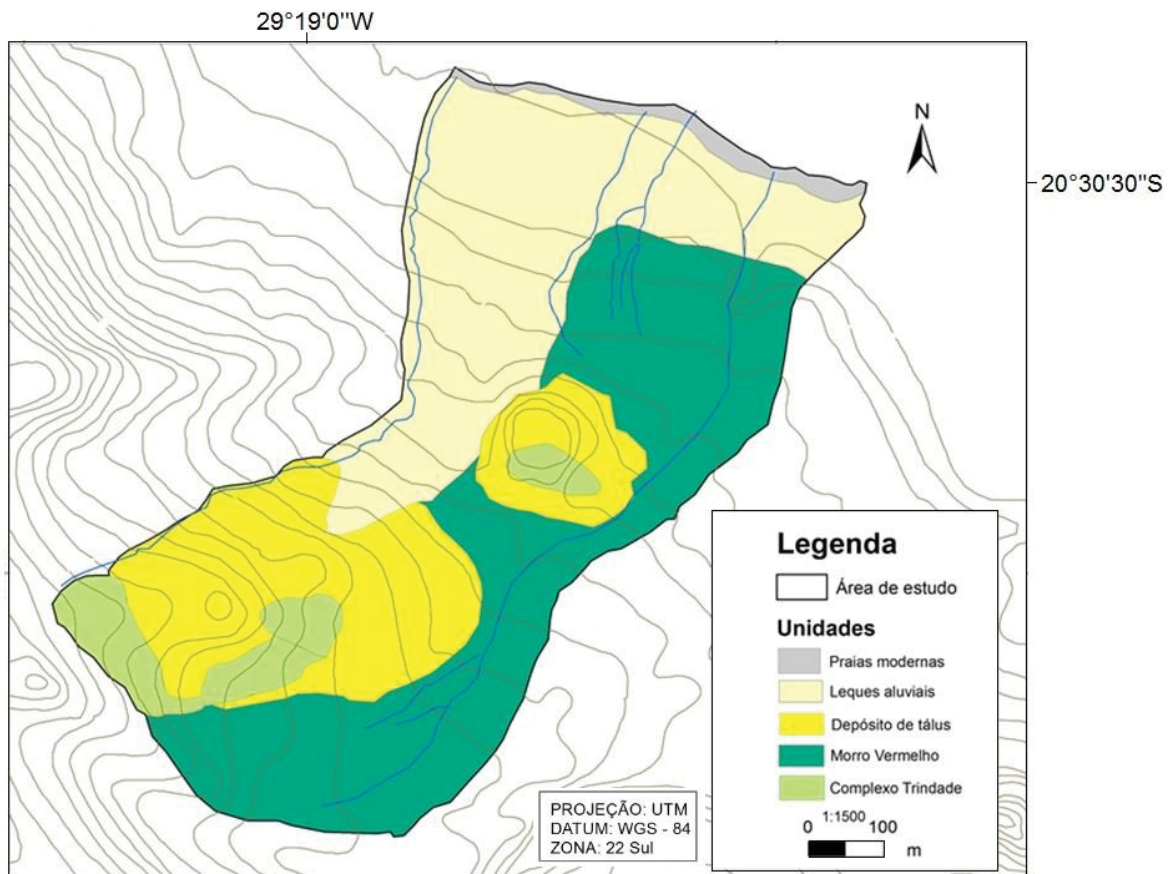


Figura 2-6: Mapa geológico da área de estudo.

O CT corresponde ao episódio vulcânico mais antigo, com idades entre 3,9 e 2,55 Ma (Almeida 1961; Cordani 1970). Na região do levantamento de dados ocorrem estruturas vulcânicas ainda preservadas de *necks* e domos dessa unidade geológica, estes constituídos por fonolitos (Figura 2-7). Os fonolitos são rochas vulcânicas alcalinas extrusivas, com ocorrência menos frequente em âmbito mundial, devido a sua composição química. Portanto o presente estudo é um dos poucos que possuem essas rochas como objeto de estudo para análise de cunho geoambiental.

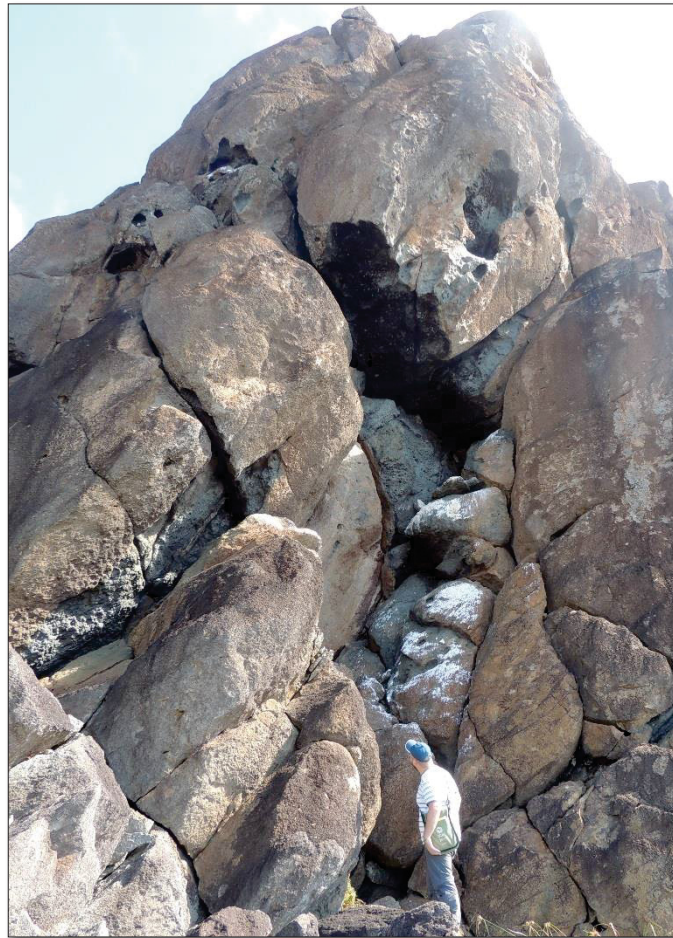


Figura 2-7: Afloramento de fonolitos no *neck* preservado do Complexo Trindade, conhecido como o Pico Preto (Fotografia: 2018).

Já a FMV apresenta idade entre 1,18 e 1,11 Ma e é descrita como o resultado de uma erupção explosiva estromboliana, com derrames de lava ankaratrítica melanocrática de olivina nefelinito contendo biotita, que se manifestou no vale da região central da IT (Almeida 1961; Cordani 1970). A FMV possui depósitos provenientes de manifestações vulcânicas explosivas, que culminaram na intercalação de rochas com características geotécnicas muito diferente entre si. Nessa formação aflora os ankaratritos, muito fraturados e frequentemente apresentam feições de esfoliação esferoidal e também rochas piroclásticas e epiclásticas, estas muito friáveis que apresentam alta erodibilidade (Figura 2-8).



Figura 2-8: Afloramento da FMV, onde observa-se no topo o ankaratrito com a sua cor original ainda preservada em contato com os saprólitos de rochas piroclásticas da camada inferior (Fotografia 2018).

A área de estudo também caracteriza-se por ser uma das regiões menos íngreme quando comparada com a morfologia do terreno das outras bacias hidrográficas que compõem a ilha. No entanto, a encosta mais íngreme possui amplitude máxima do terreno de 315 m com 973 m e 250 m de comprimento e largura respectivamente, onde ocorre a sobreposição de tálus, aparentemente estáveis, proveniente das estruturas vulcânicas (*necks* e *domo*) do CT (Figura 2-9).



Figura 2-9: Parte da encosta que mostra o neck e o domo da FMV e os depósitos de tálus fonolíticos (Fotografia: 2018).

A área de investigação também é constituída por encostas com processos erosivos ativos concentradas na porção leste, onde afloram sequências de rochas da FMV, sendo necessária uma investigação das características da morfologia do terreno de detalhe devido à proximidade da encosta em relação às edificações (Figura 2-10).

No limite leste existe um vale erosivo efêmero (Figura 2-11), onde afloram rochas da FMV, que apresenta uma tendência de alargamento e aprofundamento a jusante, muito próximo da estrutura hospitalar da ocupação, local onde existem indícios de uma falha normal encaixada que coincide com a ocorrência de rochas epiclásticas de alta erodibilidade na base dos estratos, fatores geológicos que facilitam o aceleração do processo erosivo, visto a ausência de vegetação.

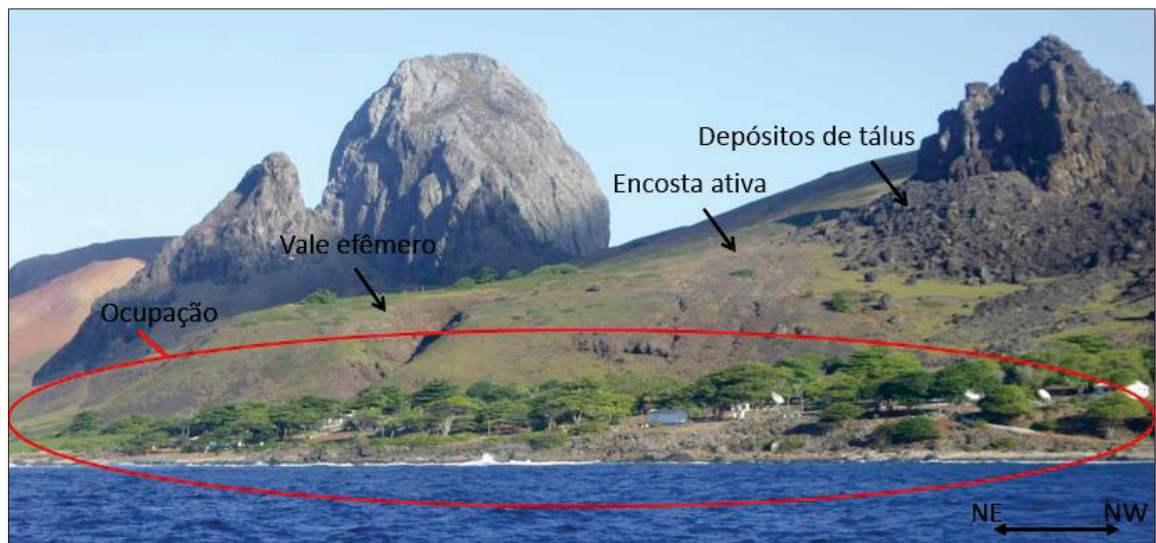


Figura 2-10: Vista panorâmica da área de ocupação localizada a jusante de processos naturais ativos (Fotografia: 2018).

A estruturação tectônica rúptil é um importante fator condicionante das feições do relevo, das bacias hidrográficas, e também da direção dos fluxos dos materiais inconsolidados. A figura 14 destaca os lineamentos, estes traçados a partir das feições lineares topográficas, considerados como os principais da área de estudo.

Os lineamentos de direção N30W e N-S controlam as drenagens e também a direção dos depósitos de tálus, e os grandes lineamentos N30W marcam as principais quebras abruptas no relevo.

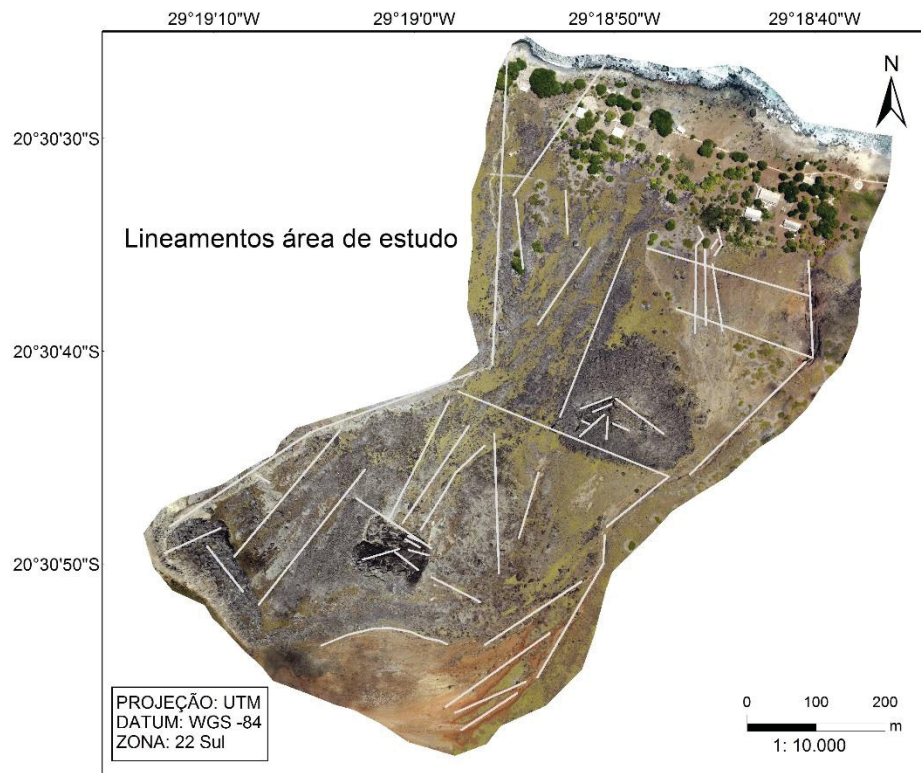


Figura 2-11: Mapa de lineamentos da área de estudo.

2.2 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO

Desde a sua descoberta em meados do século XVI a IT foi ocupada esporadicamente e de maneira descontínua, sendo que somente a partir de 1957 passou a ser ocupada permanentemente pela Marinha brasileira até os dias atuais (Figura 2-12) (Lobo 1919, Mayer 1957, Almeida 1961, Almeida 2002).

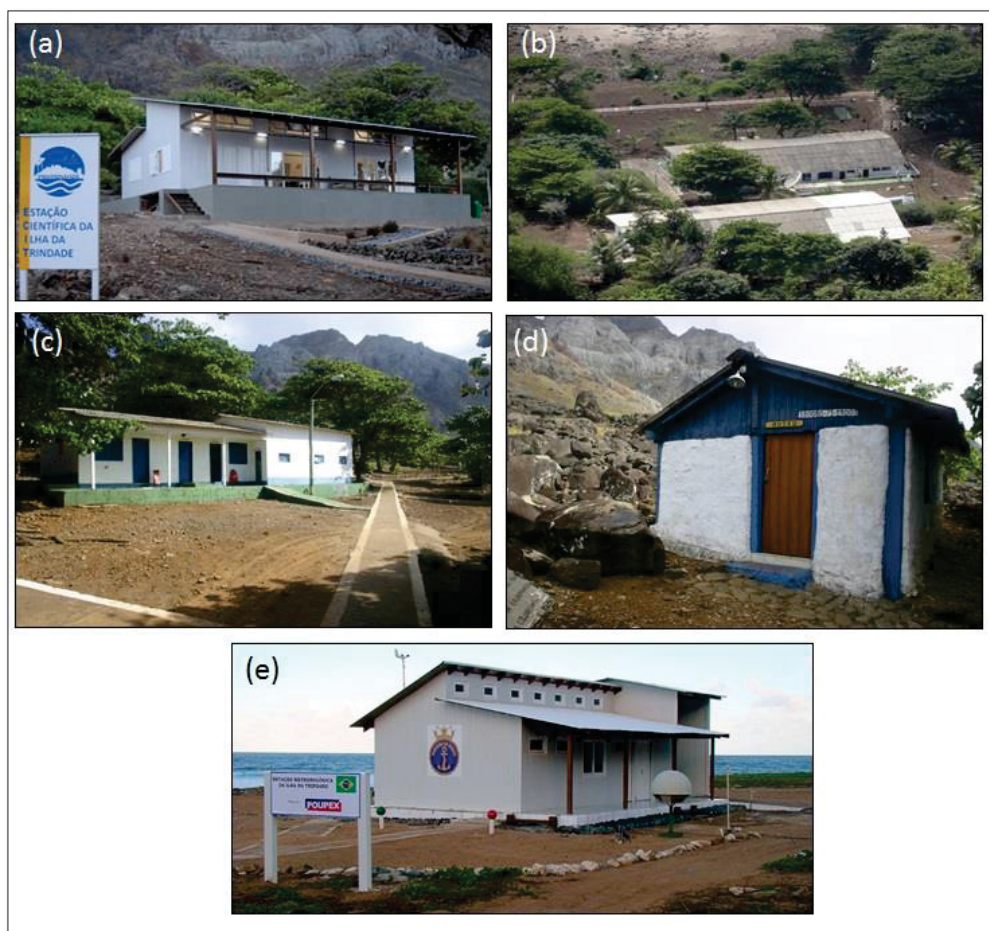


Figura 2-12: Detalhes de parte da infraestrutura mantida atualmente pela Marinha na IT: a) Estação Científica da Ilha da Trindade (ECIT); b) alojamento militar; c) enfermaria; d) museu e e) Estação Meteorológica da Ilha da Trindade (EMIT) (fotografias: 2017).

Almeida (2002) relata que foram introduzidos animais tais como porcos, cabras e carneiros, por colonizadores ingleses e portugueses, e durante a Primeira Guerra pela guarnição. Estes animais causaram devastação severa da cobertura vegetal, com o consequente desenvolvimento de solos pedregosos. Esse fato somado com o corte indiscriminado de árvores além de ter causado um desequilíbrio na flora e fauna local, contribuiu para a erosão acelerada das encostas da ilha, o que resultou na perda de 1 a 2 m de espessura de solo fértil, e também alterou a vazão dos córregos e o esgotamento de várias nascentes (Marinha do Brasil 2016) (Figura 2-13).

Também foram introduzidas espécies de vegetação não endêmica durante essa última década, como é o caso da *Guilandina bonduc*. Na área de estudo essa espécie possui médio porte e caracteriza-se por se espalhar por cima das outras vegetações matando-as, e criando halos de erosão ao seu redor (Figura 2-14).

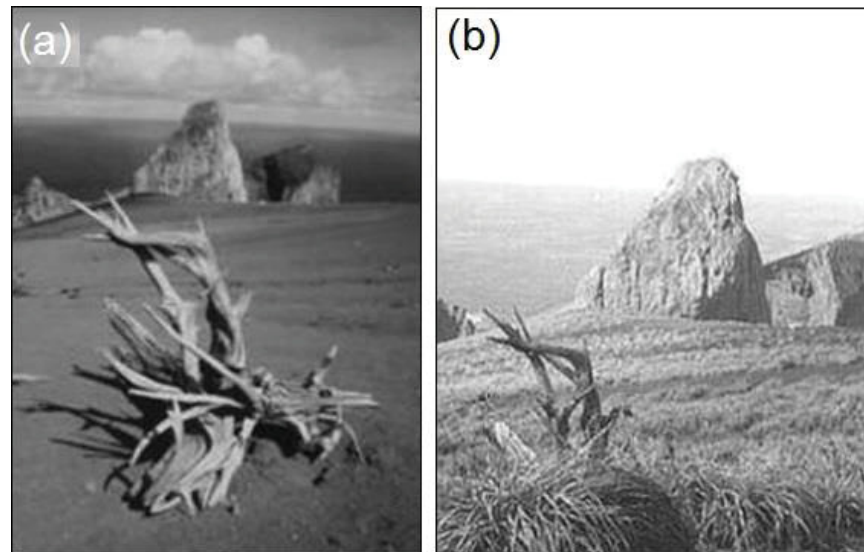


Figura 2-13: Vegetação na IT: a) Região do Morro Vermelho sem vegetação em 1998; b) Recuperação da vegetação no mesmo local após a extinção dos animais não endêmicos em 2004 (Marinha do Brasil 2004).

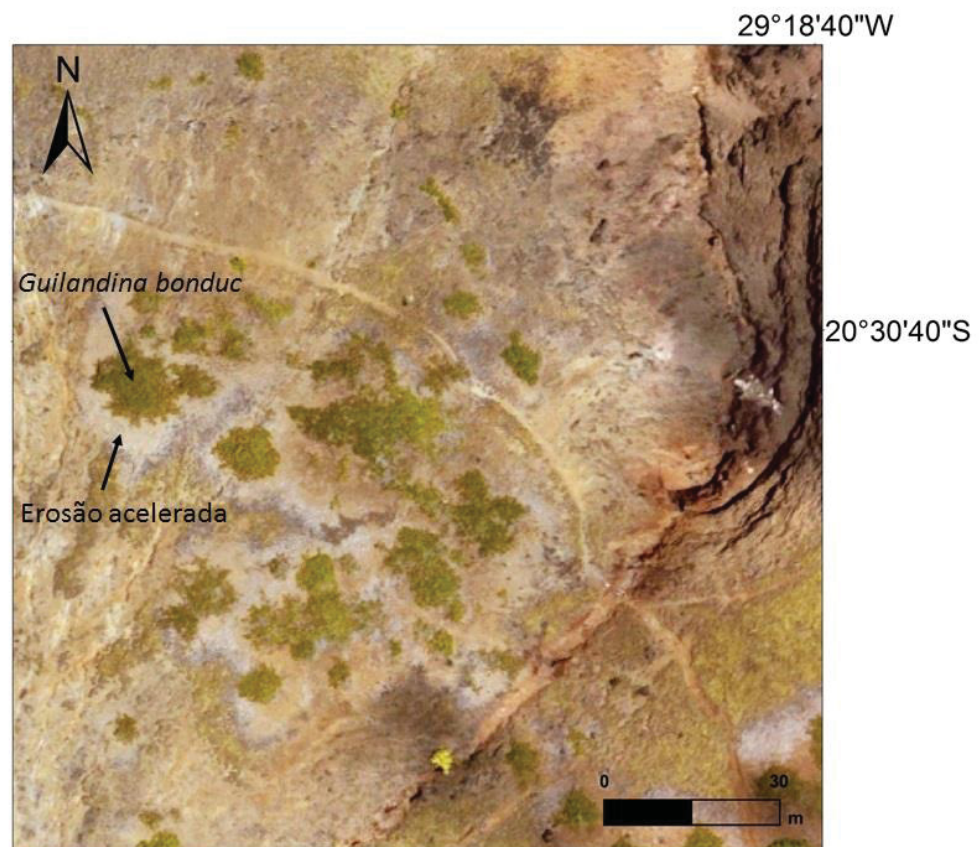


Figura 2-14: Mapa que elucida a ocorrência de *Guilandina bonduc* com halos de erosão ao seu redor na porção leste da área de estudo (Fotografia aérea: Marinha do Brasil 2011).

3 ASPECTOS CONCEITUAIS

Fenômenos ambientais como movimentos de massa gravitacionais e processos erosivos são eventos naturais que modelam o meio físico e a paisagem, atuando como importantes agentes na evolução do terreno. Os itens a seguir detalham as características desses processos que são os principais objetos de investigação do presente estudo.

3.1 PROCESSOS EROSIVOS

Os processos erosivos ocorrem pela desagregação e transporte de materiais de solos e rochas pela ação dos seguintes da água, vento e gelo (Ellison 1947). Estes atuam enquanto houver energia no sistema, e destacam e transportam partículas de materiais geológicos até serem depositadas e sedimentadas (Ayres 1936, Zuquette 2018). A capacidade do agente erosivo desprender e transportar partículas, em decorrência do nível da energia total, é chamada de erosividade (Rotta e Zuquette 2015).

Considerando a magnitude dos processos erosivos, estes podem ser classificados em: a) erosão natural: processo lento de denudação da superfície terrestre e b) erosão acelerada: intervenção humana que acelera o processo natural e geralmente resulta em degradação ambiental (Salomão e Iwasa 1995, Rotta e Zuquette 2015). Cada tipo de processo erosivo resulta em uma feição característica (Figura 3-1).

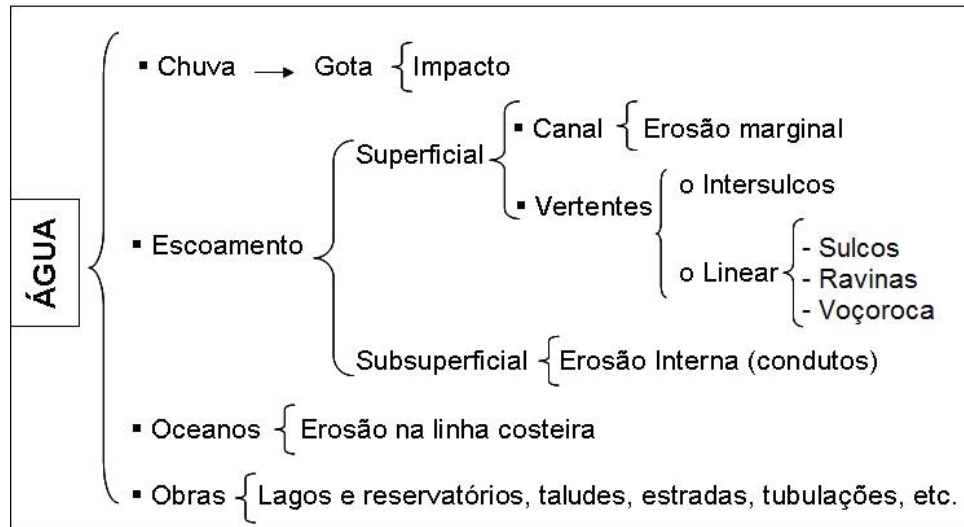


Figura 3-1: Esquema de erosões decorrentes da ação das águas e feições resultantes (modif. de Rotta e Zuquette 2015).

Nas vertentes a ação erosiva pode atuar em canais ou em superfícies pouco rugosas, e o destacamento e transporte de partículas podem ocorrer devido ao impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial de águas (Ellison 1947, Rotta e Zuquette 2015):

- Impacto das gotas de chuva: é o primeiro estágio da erosão hídrica que gera o destacamento e transporte das partículas de solo, nas vertentes com baixa inclinação e nos intersulcos do terreno. Esse tipo de erosão depende tanto da duração quanto da intensidade das chuvas;
- Escoamento superficial: é o agente da erosão hídrica mais importante, pois além de ocasionar o destacamento e transporte também possibilita a deposição das partículas envolvidas no processo. O escoamento superficial de águas em uma superfície é deflagrado durante um evento chuvoso quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração e de armazenamento de água nas depressões superficiais do terreno.

3.2 MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS (MMG)

A definição mais utilizada pra designar movimentos de massa gravitacionais (MMG), foi proposta por Cruden e Varnes (1996) como sendo o movimento de uma massa de rocha, detritos ou terras no sentido da base de uma encosta, no qual subentende-se que ocorre apenas devido à ação da gravidade. Este conceito é adotado pela *International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides* (IUGS WG/L).

Os MMG são deflagrados quando as forças cisalhantes e favoráveis superam a resistência ao cisalhamento, que deslocam, portanto, materiais geológicos e/ou antropogênicos de uma vertente pela ação direta da gravidade (Cruden e Varnes 1996, Zuquette 2018). Esses movimentos são produtos das condições: a) naturais: relevo, índice de chuvas, águas subterrâneas, distribuição e variedade de materiais geológicos-geotécnicos, tectônica, grau de intemperismo, cobertura vegetal, entre outras e b) antropogênicas: obras em locais inadequados, degradação da cobertura vegetal, modificação na geometria da feição.

Os critérios de classificação propostos por Varnes (1978) são amplamente difundidos e aceitos internacionalmente pela comunidade científica e organizações governamentais. É um sistema de classificação simplista no qual cada movimento é classificado através de dois aspectos, a cinemática do movimento de massa deslocado e os materiais geológicos envolvidos no processo (Rotta e Zuquette 2015).

Carvalho (2015) englobou os critérios de classificação de Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) e compilou os conceitos desses tipos de movimentos de massas como descrito a seguir:

- Queda de blocos (*falls*): movimentos repentinos de volumes de rocha, solo ou detritos que se separam de escarpas ou encostas íngremes, caindo e comumente ressaltando e rolando pelas encostas, geralmente esses materiais se desprendem do maciço devido à presença de xistosidade, planos de estratificação ou diaclases. Esse tipo de movimento é favorecido por diversos fatores como o grau de alteração que o maciço apresenta, pela ocorrência de descontinuidades, pelo peso do bloco e pela presença de água nas fraturas.
- Tombamentos (*toppling*): esses movimentos caracterizam-se pela rotação de um bloco ou massa em torno de um alinhamento (charneira) ou de um ponto (fulcro) localizados na base ou abaixo do bloco, acompanhando o sentido da encosta sob ação da gravidade, podendo ser potencializado por forças exercidas de blocos adjacentes, pela presença de água nas descontinuidades. Esses movimentos de massas também podem ser causados por dobras presentes em maciços xistosos ou estratificados quando a inclinação da estrutura cai para o exterior do talude, processo denominado como tombamento flexural. O tombamento pode ser simples quando o processo de instabilização envolve um bloco, ou pode ser múltiplo quando envolve mais de um bloco.
- Deslizamentos ou escorregamentos (*slides*): ocorrem quando existe uma superfície de fraqueza que separa o material escorregado do material subjacente, condicionada por uma superfície de deslizamento na qual ocorreu o movimento. Os deslizamentos são classificados em rotacionais ou planares. Se a superfície de deslizamento apresenta uma forma cilíndrica ou côncava do lado do movimento, trata-se de deslizamento rotacional, caso essa superfície seja plana o deslizamento é planar.
- Expansão lateral (*lateral spreads*): refere-se a deslocamentos laterais de blocos originados pela ocorrência de fraturas formadas por esforços de tração ou de corte devido a liquefação do material subjacente em função de sismos. Esse tipo de movimento pode acontecer em situações de declives suaves ou horizontais. Geralmente o material envolvido nesse processo é não coesivo e saturado, como areais e siltes, que se liquefaz

devido ao aumento da pressão nos interstícios pelas tensões de cortes cíclicas relacionadas ao sismo.

- Fluimentos (*flows*): são movimentos de terrenos com grande poder destrutivo e podem ser classificados de acordo com a velocidade e do tipo dos materiais envolvidos nos processos: a) fluxos de detritos (*debris flows*): movimentos rápidos de materiais (blocos de rochas, calhaus, solos) que devido à saturação, geralmente após chuvas intensas, fluem encosta abaixo ou ao longo de um vale, e quanto mais inclinada as encostas, mais meteorizadas e carente de cobertura vegetal, mais suscetíveis se tornam a esse tipo de movimento; b) fluxos de terra (*earth flow*): processo idêntico ao fluxo de detritos mas ocorrem em encostas relativamente suaves instalando-se em solos granulares finos; c) fluxos de lama (*mud flows*): também são processos semelhantes aos fluxos de detritos no entanto envolvem principalmente solos finos, argilosos e necessita de um teor de água que deflagre a movimentação da massa; d) avalanches de detritos (*debris avalanches*): são processos rápidos ou extremamente rápidos de fluxos de detritos; e) fluimento de rochas (*bedrock*): é um movimento lento, muitas vezes não aparente, que pode ocorrer devido a dobramentos ou outros fenômenos relacionados com o comportamento plástico do material envolvido; f) reptação (*creep*): são movimentos de solos ou rochas extremamente lentos, não perceptíveis a vista, que ocorrem nas encostas e seguem o sentido do declive, mobilizam as porções mais superficiais do maciço que são mais influenciadas pelas variações climáticas e g) movimentos de terrenos complexos (*complex movements*): combinação de dois ou mais tipos dos movimentos descritos anteriormente.

Os principais tipos de movimentos de massa gravitacionais estão ilustrados na Figura 3-2, esquema proposto pelo *United States Geological Survey* (2004).

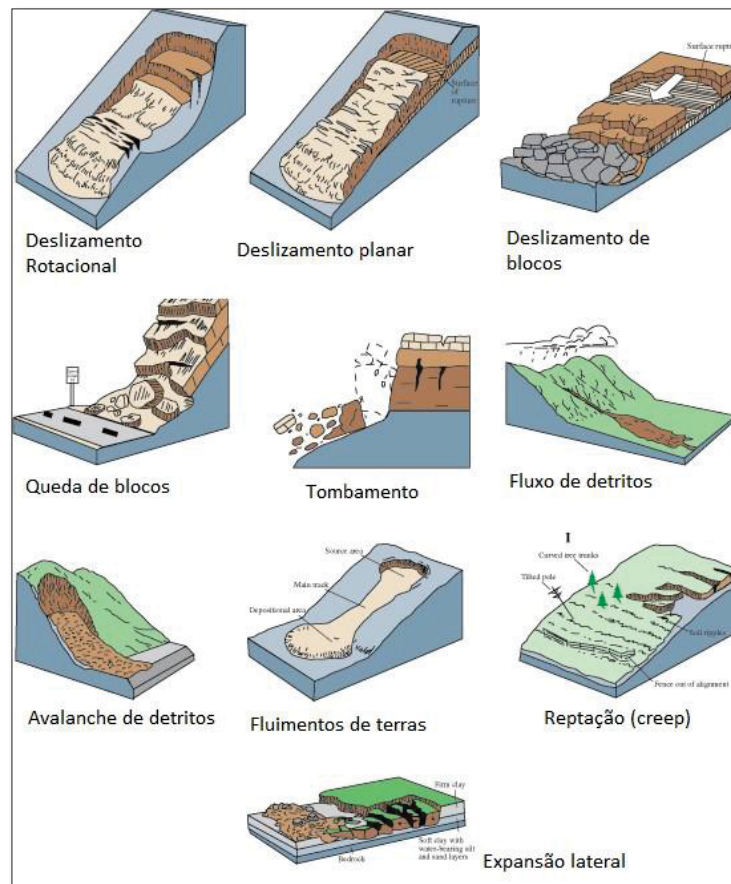


Figura 3-2: Ilustração esquemática dos principais tipos de movimentos de terrenos (modif. de *U.S Geological Survey* 2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do estudo foi adaptado o método de mapeamento geotécnico ambiental, desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC – USP) que consiste na elaboração de uma sequência de mapas e cartas, definidas em oito níveis hierárquicos (Zuquette e Gandolfi 2004; Pejon e Ferreira 2016), descritos a seguir:

- 1) Nível fundamental básico: registra as características dos meios físico, biológico e antropogênico por meio da variação espacial dos atributos;
- 2) Fundamental de síntese: sintetiza as características da região investigada sem uma análise para fins específicos;
- 3) Carta derivada e interpretativa: elaborada para uma condição pré estabelecida e reflete o resultado de uma análise, considerando as características de cada unidade em questão. Cada unidade é classificada quanto ao comportamento natural perante determinada condição de uso;
- 4) Carta analítica básica: produzida a partir de um conjunto de informações possibilitando a avaliação da probabilidade de um ou mais processos serem deflagrados;
- 5) Carta de prognósticos de riscos, de problema e de limitações: explicita a interação das características dos componentes do meio ambiente e são produzidas a partir das análises anteriores;
- 6) Carta de procedimento: considera a ocupação e o controle de riscos;
- 7) Carta de viabilidade (potencial) para os usuários: tem como base todas as informações obtidas em relação ao meio ambiente e fatores antropogênicos;
- 8) Carta de orientações conclusivas: visa permitir a tomada de decisões administrativas ou econômicas.

No presente estudo foi determinado o primeiro nível hierárquico fundamental básico. As informações coletadas dos processos naturais (MMG e processos erosivos), dos componentes biológicos e antropogênicos, por meio da descrição em área e variação em profundidade dos atributos, foram organizados em inventário.

O inventário consistiu na elaboração de documentos cartográficos além do registro das informações em banco de dados.

Para classificar os processos erosivos foram consideradas a geometria das feições: 1) Ravina: maior ou igual a 1 m de largura e maior que 50 cm de profundidade; 2) Sulcos: profundidade e largura menor ou igual a 50 cm e erosão intersulcos sem dimensão definida, foi considerado como a área entre os canais.

Para as feições referentes aos MMG da área de investigação, foram adotados os critérios de classificação de Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) compilados por Carvalho (2015).

A seguir encontra-se o fluxograma (Figura 4-1) e a descrição das etapas desenvolvidas para realização do inventário, que se dividem em três etapas principais: 1) planejamento (atividades de escritório); 2) obtenção de informações e 3) processamento e armazenamento dos dados obtidos para alcançar os objetivos.



Figura 4-1: Fluxograma das atividades desenvolvidas.

4.1 PLANEJAMENTO

Devido ao fato da IT ter acesso difícil (três a quatro dias de navio na qual a Marinha do Brasil realiza esse traslado) e restrito (apenas pesquisadores vinculados e militares podem acessar e permanecer no local), e também a permanência na ilha para campo científico ser de aproximadamente 60 dias, sem acesso ao continente, a etapa do planejamento foi fundamental para a realização desta pesquisa e também a fim de garantir uma coleta de dados de campo adequada.

4.1.1 Fotointerpretação

Foi realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando fotografia aérea de baixa altura cedida pela Marinha do Brasil do ano de 2011, no entanto não foi possível ter acesso a escala que o levantamento fotográfico foi realizado. Apesar da excelente resolução, a fotografia não apresenta a perspectiva do relevo (3D) adequada e compatível com a realidade, assim como as imagens disponíveis de satélite pelo Google Earth Pro (outros tipos de imageamento aéreo não contemplam a IT, o que dificulta a modelagem gráfica).

Para essa etapa, utilizou-se os softwares de geoprocessamento Arc Gis 10.4, Qgis 2.18.3 e secundariamente o Google Earth Pro, para identificação dos elementos antropogênicos, reconhecimento de feições geológicas e geomorfológicas, assim como os processos naturais potencialmente perigosos, para o planejamento da primeira etapa de campo.

4.1.2 Levantamento de campo (etapa I)

A primeira etapa de campo, realizada em maio de 2017, teve caráter de reconhecimento da área de estudo, na qual foi realizado um levantamento abrangente das bacias hidrográficas do setor leste da ilha que incluiu registros fotográficos e descrições das características geológicas, geomorfológicas das instalações e infraestrutura e das potenciais fontes dos processos perigosos.

4.1.3 Delimitação da escala de trabalho

Após as atividades de fotointerpretação e reconhecimento da área em campo, foi escolhida a escala de classe local 1: 1.500 como adequada para o mapeamento do inventário dos processos naturais.

4.1.4 Delimitação da área de estudo

A área de estudo foi delimitada a partir da divisão da IT em bacias hidrográficas, utilizando o método de traçado da linha de divisores de água, até segunda ordem, proposto por Strahler (1957). O sistema de drenagens disponíveis do mapa geológico de Almeida (1961) e da carta náutica não eram adequados, por isso foi necessário traçar novamente as drenagens através de fotointerpretação aliada a trabalhos de campo. Com o detalhamento as drenagens foram corrigidas e determinadas novas ainda não mapeadas na literatura. Também foram nomeadas as bacias hidrográficas baseadas em características geológicas que é o caso da Morro Vermelho e Desejado (referência as unidades geológicas das nascentes). Já as bacias Cabritada e a Almirante, ambas próximas a ocupação, foram nomeadas como referência a base militar.

4.1.5 Determinação dos atributos

Os atributos foram escolhidos a partir do reconhecimento da área de estudo em conjunto com trabalhos de Zuquette e Gandolfi (2004), Carvalho (2015) e Zuquette (2018), nos quais esses autores listam os componentes e atributos fundamentais a serem investigados nos estudos de processos erosivos e MMG. Os componentes para caracterizar ambos os processos foram:

- Feições e evidências dos processos
- Condições ambientais: a) vegetação e b) dados de chuvas;
- Substrato rochoso;
- Materiais inconsolidados;
- Geomorfologia;

- Elementos antropogênicos.

Para a caracterização do grau de intemperismo dos materiais geológicos foi utilizado a classificação de Zuquette (2004) (figura 4-2).

Classificação materiais inconsolidados (Zuquette 2004)			
Fase de evolução genética	grau de intemperismo	unidades	Características primárias
Fase residual madura	6	RS / RT	fase residual madura grau 6
		RS 6	
Saprólito	5	RS 5	Decomposição e desintegração superior a 90%
	4	RS 4	Decomposição e desintegração superior a 50%
Rocha alterada	3	RA 3	Decomposição e desintegração inferior a 50%. Rocha sã presente e com pouca expressão de continuidade
	2	RA 2	Decomposição e desintegração inferior a 50%. Rocha sã presente e com certa continuidade
Rocha sã	1	R 1	Descoloração em alguns pontos, em minerais específicos e em paredes das descontinuidades

Figura 4-2: Classificação de materiais inconsolidados proposto por Zuquette (2004).

4.2 OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES

Após serem definidos o limite e os atributos a serem obtidos, foram realizados trabalhos de fotointerpretação (idem item 4.1.1) antes, durante e após as atividades da segunda etapa de campo, afim de registrar e armazenar em um banco de dados em ambiente SIG todos os elementos analisados

4.2.1 Levantamento de campo (etapa II)

Com o avanço da pesquisa após a realização das etapas anteriores, decidiu-se limitar a área de investigação, a fim dos estudos contemplarem exclusivamente a zona de influência da ocupação utilizando a escala de 1: 1.500. Nessa etapa foram realizados os seguintes levantamentos:

- Descrição e levantamento de perfis geológico – geotécnicos dos atributos pré – determinados para o inventário: descrição de aproximadamente 73 pontos. Os atributos que foram observados nos pontos descritos encontram-se organizados conforme a ficha de campo (Anexo 1), que inclui: 1) descrição do tipo de relevo; distância e tipo de ocupação antropogênica em relação a feição analisada; 2) características da cobertura vegetal (tipo, densidade, presença de espécies prejudiciais a instabilidade); 3) descrição dos materiais inconsolidados (tipo geotécnico, espessura, contato entre as camadas); 3) identificação, classificação e caracterização geométrica do tipo de processo natural principal (feições erosivas e MMG); e associados; 4) descrição do tipo de material geológico afetado que incluiu caracterização litológica, textural e estrutural e 5) caracterização dos elementos relacionados a ocupação: densidade e tipo de ocupação, distribuição em área das edificações e infraestrutura e distância dos elementos antropogênicos e locais de circulação de pessoas em relação aos setores instáveis.
- Obtenção dos dados de chuva registrados pelo pluviógrafo da Estação Meteorológica da IT (EMIT) que registra a precipitação das chuvas diariamente a cada duas horas (Figura 4-4 a). Durante a etapa de campo, que foi realizada durante os meses mais chuvosos (entre abril e junho de 2018) na IT, todas as chuvas foram monitoradas e os gráficos do pluviógrafo interpretado em campo (Figura 4-4 b), sendo registradas as chuvas que ativaram as drenagens efêmeras, assim foi possível correlacionar a pluviosidade, com tempo e ativação dos processos de fluxos superficiais que transportam sedimentos finos.

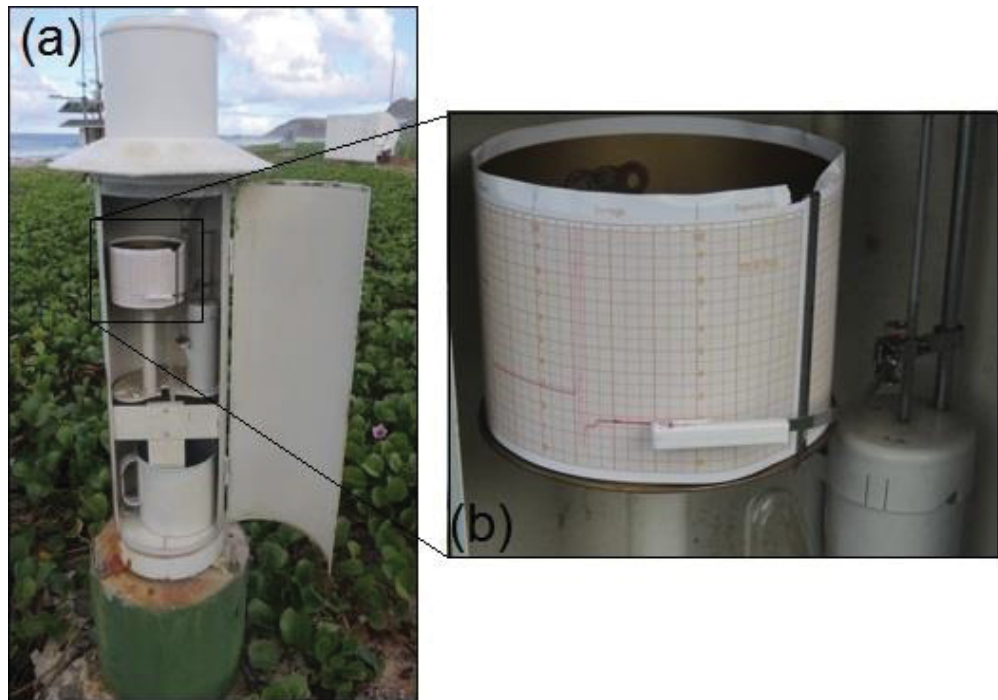


Figura 4-3: a) Pluviógrafo da Estação Meteorológica da Ilha da Trindade; b) detalhe do gráfico do equipamento que faz o registro das chuvas a cada duas horas.

- Aplicação da geotecnologia referente ao método de posicionamento GNSS pelo Sistema RTK (*real time kinematic*) que permite registrar a posição de pontos cotados do terreno com precisão de 0,003 m. No presente estudo esse método foi utilizado para: 1) detalhar a topografia do terreno através de um levantamento de caráter planialtimétrico, sendo realizados caminhamentos pela área de enfoque do terreno, com espaçamento de 0,5 m entre os registros dos pontos cotados e para 2) registrar a infraestrutura da ocupação, tais como edificações, sistema de distribuição de água, luz, esgoto, comunicação e áreas de lazer. (Figura 4-5). É importante acrescentar que tem disponível apenas as curvas de nível referentes a carta náutica com uma equidistância de 20 m entre as curvas, escala que não é adequada para análises de detalhe. Por isso se torna importante a aplicação de técnicas a fim detalhar a topografia da região.

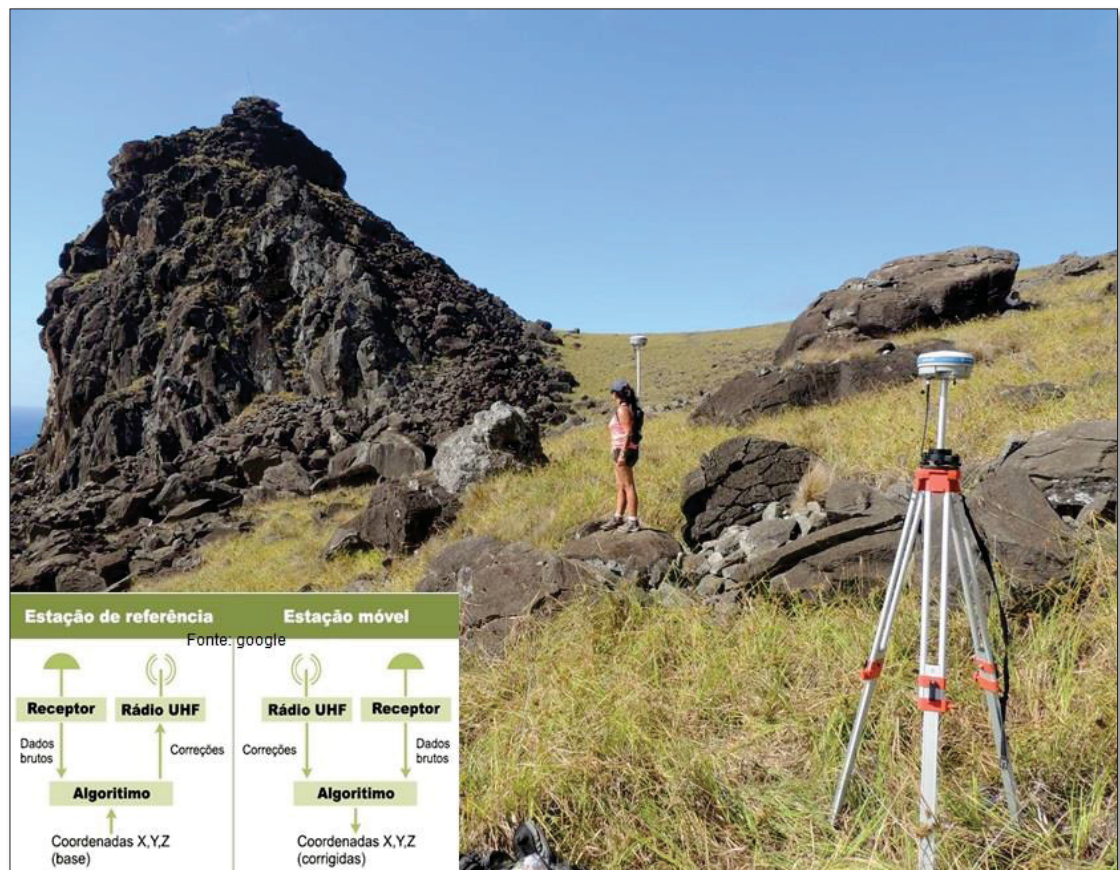


Figura 4-4: Detalhamento da topografia em campo utilizando o equipamento RTK *Stonex Plus 8*.

4.2.2 Ensaios de laboratório

A Figura 4-6 mostra a localização das amostras de solos coletadas para as análises físicas e químicas que serão detalhadas nos itens a seguir.

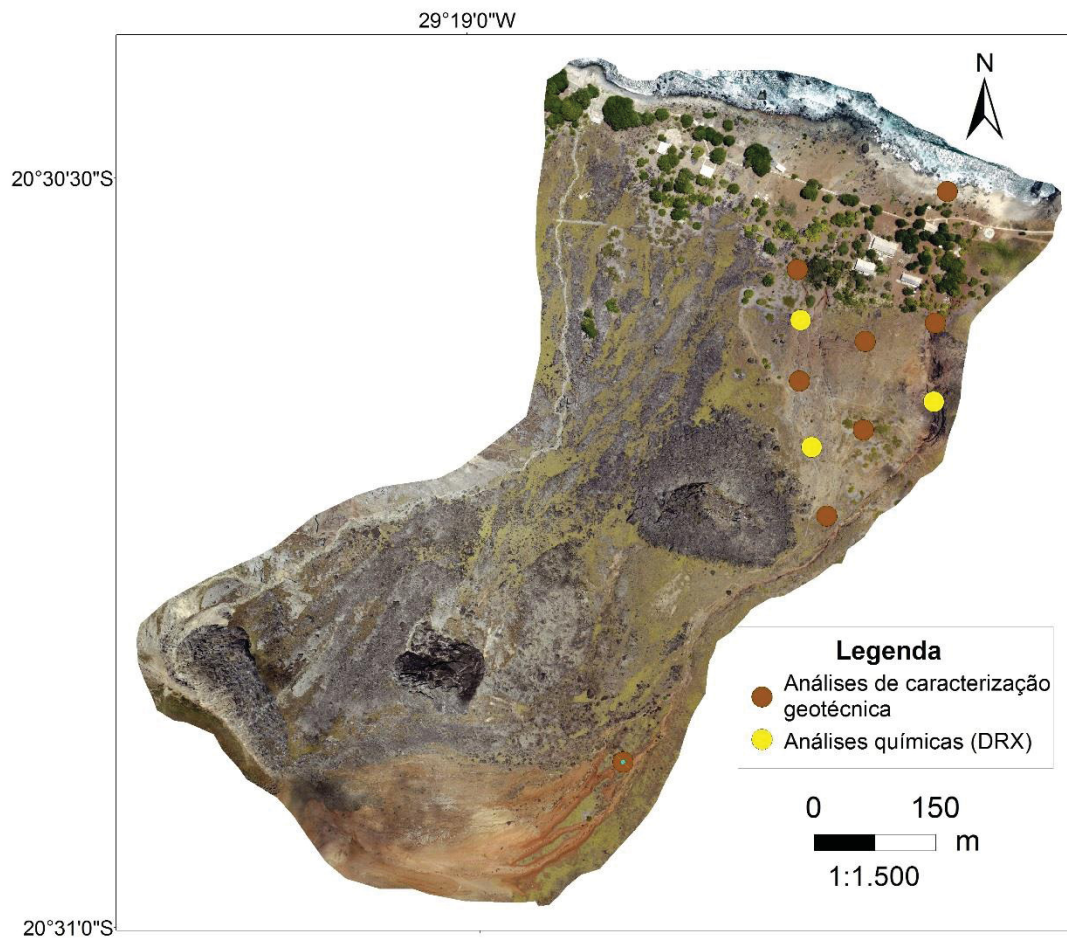


Figura 4-5: Amostras coletadas para as análises laboratoriais.

4.2.2.1 Caracterização geotécnica dos solos

Em um primeiro momento, foram realizadas análises tátil-visuais em 7 amostras (Figura 25) baseadas na metodologia aplicada pela EESC – USP (Bueno & Vilar, 1998) e Massad (2016). Os ensaios de caracterização física dos solos foram realizados de acordo com as Normas Brasileiras (NBR) e a regulamentação dos ensaios laboratoriais instituído pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER).

Foram realizados os seguintes ensaios, no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) da Universidade Federal do Paraná (UFPR):

- Preparação para ensaios de caracterização e compactação (baseada na norma ABNT – NBR 6457);
- Análise granulométrica conjunta com defloculante e secagem prévia (baseada na Norma ABNT – NBR 7181) para a obtenção de distribuição granulométrica do solo;
- Limite de plasticidade (baseada na Norma ABNT – NBR 9180);
- Limite de liquidez (baseada na Norma ABNT – NBR 6459) para o cálculo de índice de plasticidade juntamente com os resultados do limite de plasticidade;
- Densidade Real (baseada na DNER – ME 093 - 94).

4.2.2.2 Caracterização química dos solos

Foram realizados ensaios de fluorescência de raios X (FRX) e difratometria de raios X (DRX) em três amostras (figura 26), a fim de reconhecer a composição química dos solos assim como identificar os minerais e argilominerais presentes. Desta forma foi possível correlacionar as rochas vulcânicas fonte dos solos transportados. Os ensaios foram realizados pelo Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da UFPR.

4.3 PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS OBTIDOS

4.3.1 Banco de dados

Os dados foram armazenados, tanto em planilhas do Excel (fichas de campo, dados estatísticos dos mapas de inventário, resultados das análises laboratoriais) e também em planilhas em ambiente SIG, assim como os atributos mapeados.

4.3.2 Geoprocessamento dos dados obtidos

Os mapas, inclusive os produtos finais do inventário, foram elaborados a partir dos softwares ArcGis 10.4 e QGis 2.18, e os perfis topográficos no AutoCad. O sistema de projeção utilizado foi UTM, o datum WGS 84 e a zona 22 Sul.

4.3.3 Tratamento de dados RTK

O tratamento dos pontos cotados obtidos pelo RTK foram tratados no Qgis 2.18 e ArcGis 10.4. No entanto, apesar do caminhamento ter sido realizado na área inteira, apenas na bacia hidrográfica Cabritada, que caracteriza-se por ser a mais ativa em relação a processos erosivos, a mais próxima da ocupação e de mais fácil acesso, foi possível obter uma malha regular e adequada de coleta de pontos durante o caminhamento. As outras bacias hidrográficas por serem muito íngremes e com acesso perigoso não foi possível fazer um caminhamento regular, o que resultou em produtos insatisfatórios e descartáveis para o estudo.

Portanto na região da área investigada no qual o método foi válido, foram gerados os seguintes produtos cartográficos:

- Topográfico: foi utilizado o QGis 2.18 para a extração das curvas de nível a partir de pontos cotados através do método de interpolação por triangulação irregular de grade (TIN) que demonstrou os melhores resultados compatíveis com a realidade do terreno. O produto obtido foi um mapa topográfico de detalhe com curvas de nível equidistantes 1m entre si;
- Modelo digital de elevação: gerado no ArcGis 10.4 a partir das curvas de nível geradas anteriormente;
- Mapa de declividade: gerado no *software* ArcGis 10.4 através da ferramenta *slope* que utiliza o modelo digital de elevação (MDE) gerado pelo TIN. Para a determinação das classes, foi utilizado o máximo de intervalos disponíveis no *software* (32 classes), pois o objetivo foi observar com máximo de detalhe as variações de declividade do terreno.

4.3.4 Definição das áreas predisponíveis aos eventos

Após as etapas de campo e levantamento dos dados, optou-se por dividir a área de estudo, de maneira preliminar, em áreas onde predominam o mesmo tipo de evento, a fim de organizar e facilitar o entendimento dos processos. Foram identificadas 5 unidades distintas:

- Unidade 1: Vale efêmero com processos erosivos e MMG;

- Unidade 2: Encosta com processos erosivos e MMG;
- Unidade 3: Encosta com MMG;
- Unidade 4: Domo e *necks* vulcânicos com MMG;
- Unidade 5: Depósito dos materiais inconsolidados (solos e rochas) e área das construções e infraestrutura(antropogênica).

4.3.5 Análise temporal de feições

A grande dificuldade de análises temporais na IT é a escassez de imagens aéreas de satélites e também de fotografias aéreas de baixa altura. Não existe material disponível em RADARSAT e TOPODATA, estas que são frequentemente utilizadas para análises e modelagens do terreno. Existem apenas disponíveis as imagens LANDSAT disponíveis no Google Earth, sendo a mais antiga do ano de 2005.

Para essa etapa utilizou-se, portanto, a imagem aérea cedida pela Marinha do Brasil de 2011, e as imagens disponíveis no Google Earth: 2005, 2006, 2014 e 2015.

5 RESULTADOS

5.1 ARTIGO: INVENTÁRIO DE PROCESSOS NATURAIS NAS BACIAS DESEJADO, ALMIRANTE, CABRITADA E MORRO VERMELHO NA ILHA DA TRINDADE – BRASIL

RESUMO

A Ilha da Trindade (IT) possui localização remota e de difícil acesso, situada no Atlântico Sul (20.5°S, 29.3°W), dista 1140 km da costa brasileira, aproximadamente na altura do paralelo de Vitória – Espírito Santo, fazendo parte no extremo leste da grande cadeia vulcânica submarina (E-W) denominada Cadeia Vitória-Trindade. Trindade é um monte vulcânico alcalino cenozoico escarpado, com aproximadamente 6 km de comprimento, 10 km² de área emersa, 2,5 km de largura e 600 m de altitude máxima. Devido à morfologia e evolução natural da paisagem, a atual ocupação da ilha está suscetível a processos geológicos exógenos, principalmente aos eventos relacionados a processos erosivos decorrentes da ação das águas e de movimentos de massa gravitacionais relacionados à queda e tombamento de blocos de rochas. Portanto, o objetivo desse estudo é determinar o comportamento geodinâmico da área do entorno da ocupação (0,488 km²), a fim de prevenir danos aos ocupantes da ilha e perdas ou danos ao patrimônio. Foram identificadas quatro unidades distintas de acordo com o tipo de feição de terreno e da predisposição aos eventos naturais identificados: 1) Zona 1: vale efêmero no qual foram identificados movimentos de massa gravitacionais, escoamento superficial com fluxo de lama e erosão interna; 2) Zona 2: encosta com predominância de processos erosivos lineares, movimentos de massa gravitacionais e escoamento superficial com fluxo de lama e detritos; 3) Zona 3: encosta onde ocorrem movimentos de massa gravitacionais com transporte e deposição de blocos de rocha (depósitos de tálus) e 4) Zona 4: domos e *necks* vulcânicos preservados com movimentos de massa gravitacionais relacionados a queda e tombamento de blocos de rocha. As zonas 1 e 2 apresentam dinâmica extremamente ativa, onde o solo não tem tempo suficiente para se desenvolver, sendo transportado pela ação das águas das chuvas até o sopé das encostas. Outro indicador que as feições erosivas estão ativas nessas áreas é a escassez de vegetação. A base dos estratos nessas áreas é constituída por rochas epiclásticas sobrepostas por rochas piroclásticas, nas quais as porções mal selecionadas,

apresentam maior grau de intemperismo. As rochas do topo da sequência, os ankaratritos (nefelinitos) fraturados, mais resistentes aos processos intempéricos, permitem que a água percole com facilidade até os estratos inferiores. Portanto ocorre o processo de erosão diferencial, onde o tipo de rocha vulcânica e o grau de seleção, que no caso são as rochas epiclásticas e piroclásticas ambas mal selecionadas, os condicionantes de instabilidade nas encostas. Os fluxos dos blocos relacionados às zonas 3 e 4 aparentemente estão estáveis, no entanto existe a possibilidade de instabilização do conjunto no qual a direção desses fluxos e a área de deposição se estendem até as edificações colocando a ocupação em situação vulnerável.

5.1.1 INTRODUÇÃO

A Ilha da Trindade (IT) possui localização remota e de difícil acesso, situada no Atlântico Sul (20.5°S, 29.3°W), dista 1140 km da costa brasileira, aproximadamente na altura do paralelo de Vitória – Espírito Santo, fazendo parte no extremo leste da grande cadeia vulcânica submarina (E-W) denominada Cadeia Vitória-Trindade. A IT é um monte vulcânico alcalino cenozoico escarpado, com aproximadamente 6 km de comprimento, 10 km² de área emersa, 2,5 km de largura e 600 m de altitude máxima.

Desde a sua descoberta no início do século XVI a IT foi ocupada esporadicamente e de maneira descontínua, sendo que somente a partir de 1957 passou a ser ocupada permanentemente pela Marinha brasileira até os dias atuais. Devido à morfologia e evolução natural da paisagem a atual ocupação da ilha está suscetível a processos geológicos exógenos, principalmente aos eventos relacionados a processos erosivos decorrentes da ação das águas e de movimentos de massa gravitacionais relacionados à queda e tombamento de blocos de rochas.

Portanto, o objetivo desse estudo é determinar o comportamento geodinâmico, considerando os processos naturais potencialmente perigosos, das bacias hidrográficas que contemplam a ocupação, a fim de prevenir danos aos ocupantes da ilha e perdas ou danos ao patrimônio.

No mundo, destacam-se abordagens que organizam os dados referentes a análise de processos naturais perigosos em um inventário. Os inventários podem ter o intuito apenas de documentação das dimensões dos processos, com análises em escalas que limitadas a pequena bacias ou até mesmo em escalas que englobam

países inteiros (Brabb, 1991; Cardinali et al., 2001; Delaunay, 1981; Radbruch-Hall et al., 1982; Brabb et al., 1989; Trigila et al., 2010).

Os inventários também podem representar a etapa preliminar de análises de suscetibilidade e avaliação de riscos associados a processos erosivos e movimento de massa gravitacionais (Guzzetti et al., 2005; Cardinali et al. 2006; Hernandez et al. 2012; van Westen et al 2008; Bălteanu et al., 2010; Kouli et al. 2014; Ventisette et al. 2014; Tsangaratos et al. 2018) que é o caso do presente estudo. Também é importante destacar que geralmente os trabalhos publicados referentes a inventários de feições abordam apenas um tipo de evento.

Os inventários de caráter geotécnico, segundo o Zuquette e Gandolfi (2004), devem registrar as feições relacionadas aos processos naturais, das áreas de vegetação e fauna e também das feições decorrentes da atividade humana.

Nas regiões de ilhas oceânicas, existem diversos trabalhos que mostram diferentes métodos para organizar as informações em um inventário, sendo o método mais comum a comparação temporal decadal de imagens de satélites. No entanto, a IT possui uma carência de disponibilidade de imagens temporais, sendo a mais antiga disponível do ano de 2005. Por isso o presente artigo busca apresentar uma proposta metodológica de inventário de mais de um tipo de processo natural, adaptada para regiões remotas, com poucas informações temporais e de difícil acesso como a IT.

5.1.2 ÁREA DE ESTUDO

A zona onde está localizada a infraestrutura da ocupação está a jusante de quatro bacias hidrográficas constituídas por drenagens de até segunda ordem pela classificação de Strahler (1957), denominadas neste trabalho como: Desejado, Almirante, Cabritada e Morro Vermelho (Figura 5-1).

A IT apresenta cinco episódios vulcânicos constituídos por derrames e depósitos piroclásticos e diques fonolíticos denominados: Complexo de Trindade (CT), Sequência Desejado, Formação Morro Vermelho (FMV), Formação Valado e Vulcão do Paredão (Almeida 1961). Na área de estudo ocorrem o CT, FMV e os depósitos recentes do quaternário que recobrem grande parte da área.

O relevo atual da IT é resultado da erosão profunda do edifício vulcânico, com exceção do cone de escórias do Vulcão do Paredão. Os diversos montes íngremes da ilha correspondem aos anteriores necks vulcânicos (Almeida 1961). Os depósitos

de taludes, cones e leques aluviais circundam as encostas íngremes e podem se estender até o mar(Angulo et al. 2018).

Almeida (2002) relata que foram introduzidos animais tais como porcos, cabras e carneiros, por colonizadores ingleses e portugueses, e durante a Primeira Guerra pela guarnição. Estes animais causaram devastação severa da cobertura vegetal, com o consequente desenvolvimento de solos pedregosos. Esse fato somado com o corte indiscriminado de árvores além de ter causado um desequilíbrio na flora e fauna local, contribuiu para a erosão acelerada das encostas da ilha, o que resultou na perda de 1 a 2 m de espessura de solo fértil, e também alterou a vazão dos córregos e o secamento de várias nascentes (Marinha do Brasil 2016).

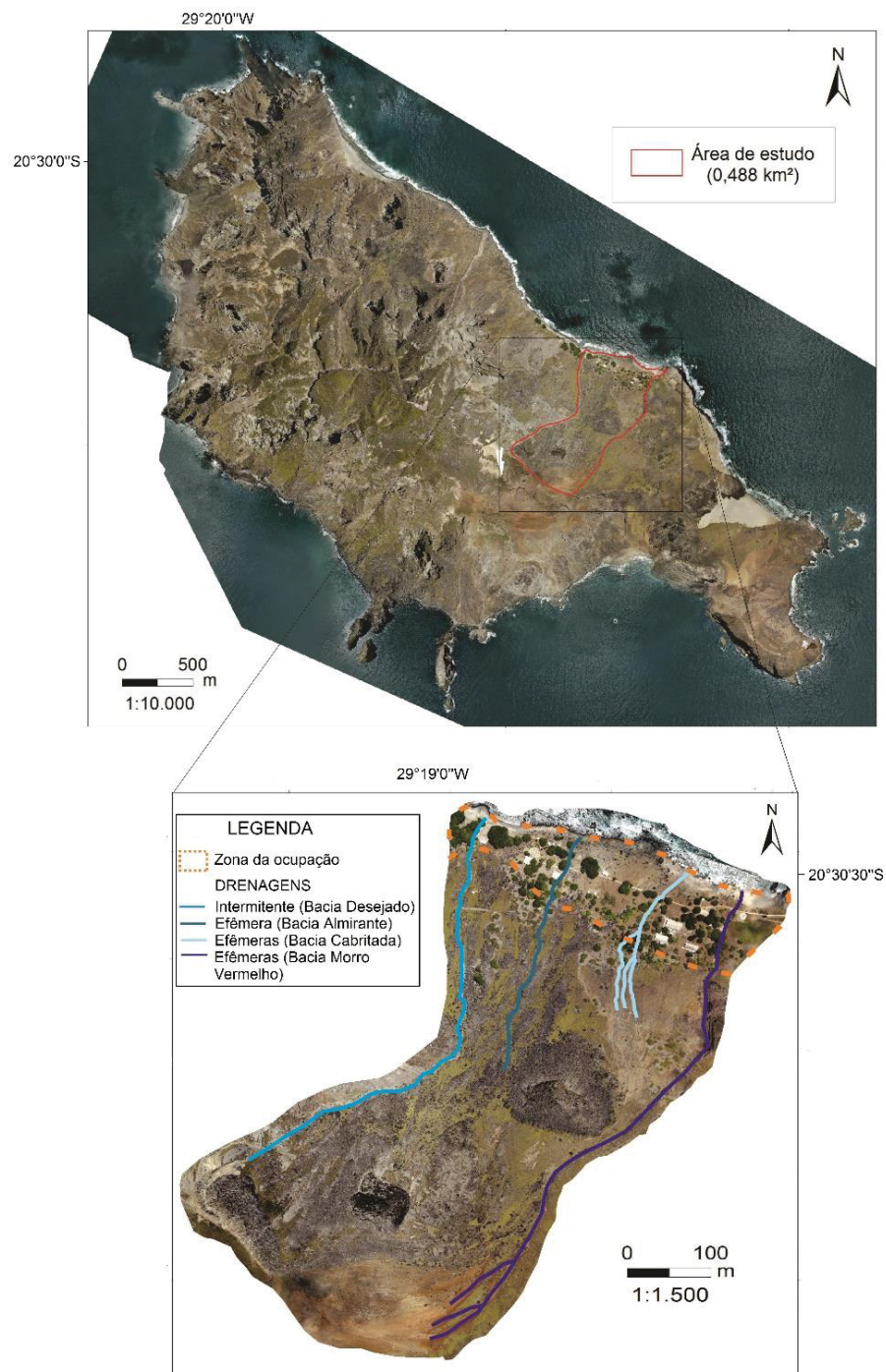


Figura 5-1: Localização da área de análise do presente estudo na Ilha da Trindade (Imagem aérea: Marinha do Brasil, 2011).

5.1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1.3.1 Critérios de classificação

Para classificar os processos erosivos foram consideradas a geometria das feições: 1) Ravina: maior ou igual a 1 m de largura e maior que 50 cm de profundidade; 2) Sulcos: profundidade e largura menor ou igual a 50 cm e erosão intersulcos sem dimensão definida, foi considerado como a área entre os canais.

Para as feições referentes aos MMG da área de investigação, foram adotados os critérios de classificação de Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) compilados por Carvalho (2015).

Para a caracterização do grau de intemperismo dos materiais geológicos foi utilizado a classificação de Zuquette (2004)

5.1.3.2 Fotointerpretação

Foi realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando fotografia aérea de baixa altura cedida pela Marinha do Brasil do ano de 2011, no entanto não foi possível ter acesso a escala que o levantamento fotográfico foi realizado. Apesar da excelente resolução, a fotografia não apresenta a perspectiva do relevo (3D) adequada e compatível com a realidade, assim como as imagens disponíveis de satélite pelo Google Earth Pro (outros tipos de imageamento aéreo não contemplam a IT, o que dificulta a modelagem gráfica).

Para essa etapa, utilizou-se os softwares de geoprocessamento Arc Gis 10.4, Qgis 2.18.3 e secundariamente o Google Earth Pro, para identificação dos elementos antropogênicos, reconhecimento de feições geológicas e geomorfológicas, assim como os processos naturais potencialmente perigosos, para o planejamento da primeira etapa de campo.

5.1.3.3 Definição das áreas predisponíveis aos eventos

Após as etapas de campo e levantamento dos dados, optou-se por dividir a área de estudo, de maneira preliminar, em áreas onde predominam o mesmo tipo de evento, a fim de organizar e facilitar o entendimento dos processos.

5.1.3.4 Análise temporal de feições

A grande dificuldade de análises temporais na IT é a escassez de imagens aéreas de satélites e também de fotografias aéreas de baixa altura. Não existe material disponível em RADARSAT e TOPODATA, estas que são frequentemente utilizadas para análises e modelagens do terreno. Existem apenas disponíveis as imagens LANDSAT disponíveis no Google Earth, sendo a mais antiga do ano de 2005.

Para essa etapa utilizou-se, portanto, a imagem aérea cedida pela Marinha do Brasil de 2011, e as imagens disponíveis no Google Earth: 2005, 2006, 2014 e 2015.

5.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de organizar os resultados obtidos, a área de estudo foi dividida em unidades de acordo com o tipo de feição de terreno e da predisposição aos eventos naturais identificados (Tabela 1). O mapa da Figura 5-2 mostra a delimitação dessas unidades e também as zonas selecionadas para a análise temporal das feições.

Tabela 1: Unidades predisponíveis a eventos perigosos.

Unidade	Tipo de feição do terreno	Descrição	Fontes dos eventos perigosos geológicos
1	Vale efêmero	<ul style="list-style-type: none"> Extensão: 1 km; Profundidade mínima de 5 m a montante e máxima de 17 m a jusante; Bacia hidrográfica: Morro Vermelho; Unidade geológica: Morro Vermelho. 	<ul style="list-style-type: none"> Movimentos de massa gravitacionais: deslizamentos planares (de rochas, saprólitos e solos pouco desenvolvidos), queda de blocos (blocos de até 2 m de diâmetro, com predomínio de até 30 cm de diâmetro). Escoamento superficial com transporte de sedimentos finos (fluxo de lama); Erosão interna (<i>pipina</i>).
2	Encosta	<ul style="list-style-type: none"> Área: 0,066 km² (comprimento máximo: 315 m e largura máxima: 204 m); Amplitude do relevo: 80 m; Bacia Hidrográfica: Cabritada; Unidade Geológica: Morro Vermelho com ocorrência de blocos fonolíticos (com até 20 m de diâmetro) do Complexo Trindade. 	<ul style="list-style-type: none"> Processos erosivos (sulcos, ravinas, erosões intersulcos, <i>pipina</i>); Movimentos de massa gravitacionais: deslizamentos planares (de rochas, saprólitos e solos pouco desenvolvidos), rastejo e queda de blocos. Escoamento superficial com transporte de sedimentos finos (fluxo de lama) e detritos (fluxo de detritos).
3	Encosta	<ul style="list-style-type: none"> Área: 0,284 km² (comprimento máximo: 836 m e largura máxima: 353 m); Amplitude do terreno: 360 m; Bacia Hidrográfica: Desejado; Unidade geológica: predomina na zona o Complexo Trindade e secundariamente ocorre o Morro Vermelho. 	<ul style="list-style-type: none"> Movimentos de massa gravitacionais: transporte e deposição de blocos de rocha (depósitos de talus).
4	Domo e <i>necks</i> vulcânicos preservados	<ul style="list-style-type: none"> Domo: Pico Grazinas (perímetro: 430 m e altitude máxima: 403 m); <i>Necks</i>: Picos Pontudo (perímetro: 257 m e altitude máxima: 282 m) e Preto (perímetro: 285 m e altitude máxima: 137 m); Bacia Hidrográfica: Desejado; Unidade geológica: Complexo Trindade. 	<ul style="list-style-type: none"> Movimentos de massa gravitacionais: queda e tombamento de blocos de rocha (área fonte da Zona <i>EMg</i>).

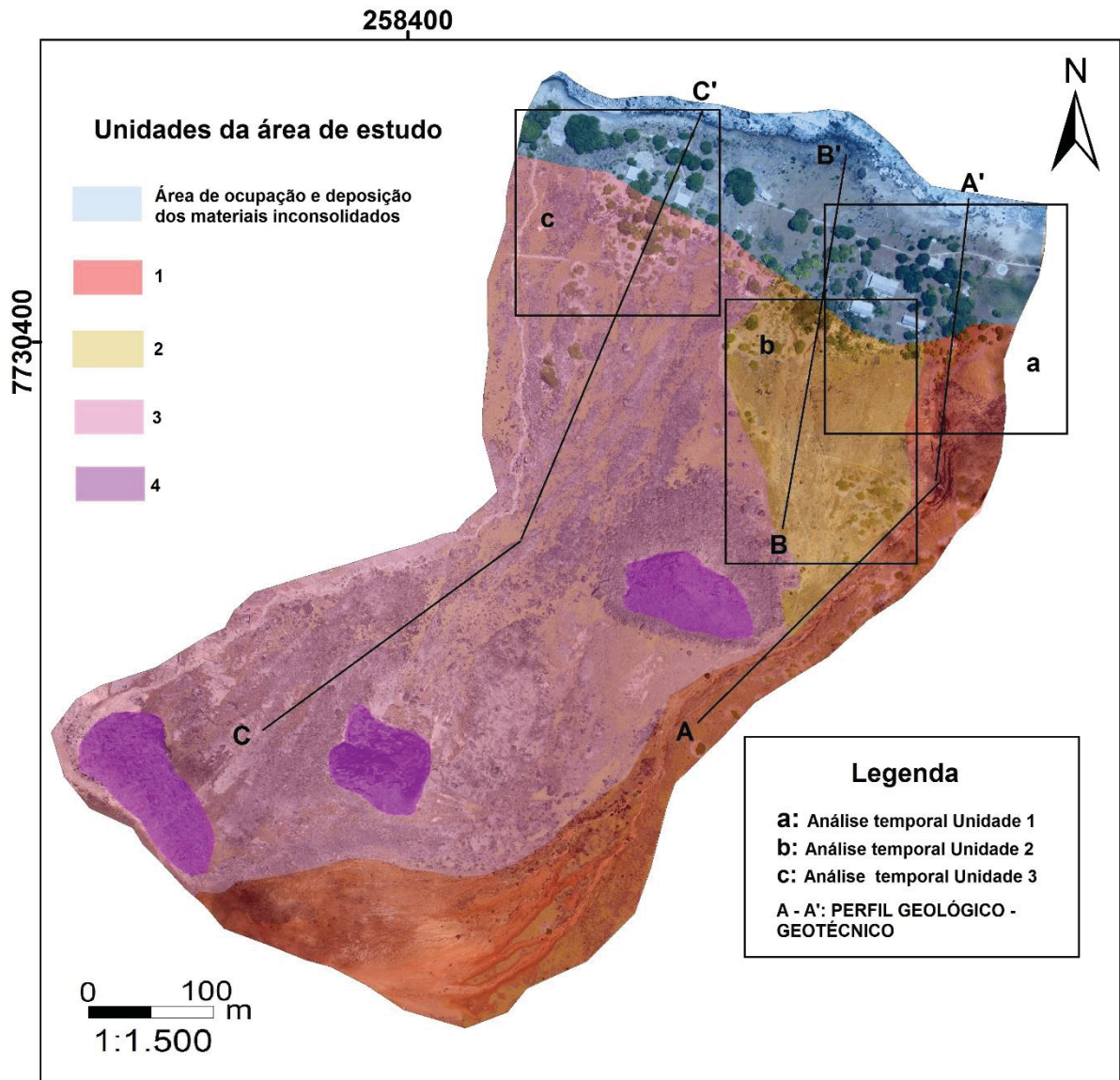


Figura 5-2: Mapa com destaque para as Unidades de análise do presente estudo (escala 1: 1500).

5.1.4.1 Unidade 1

Trata-se do vale erosivo efêmero localizado no limite leste da área de estudo (Figura 5-2) no qual afloram rochas epiclásticas, piroclásticas e do derrame (ankaratritos) do vulcanismo da FMV.

A seção esquemática da área de estudo mostra como funciona a dinâmica do transporte de sedimento pelos fluxos quando a drenagem é ativada por chuvas (Figura 5-3).

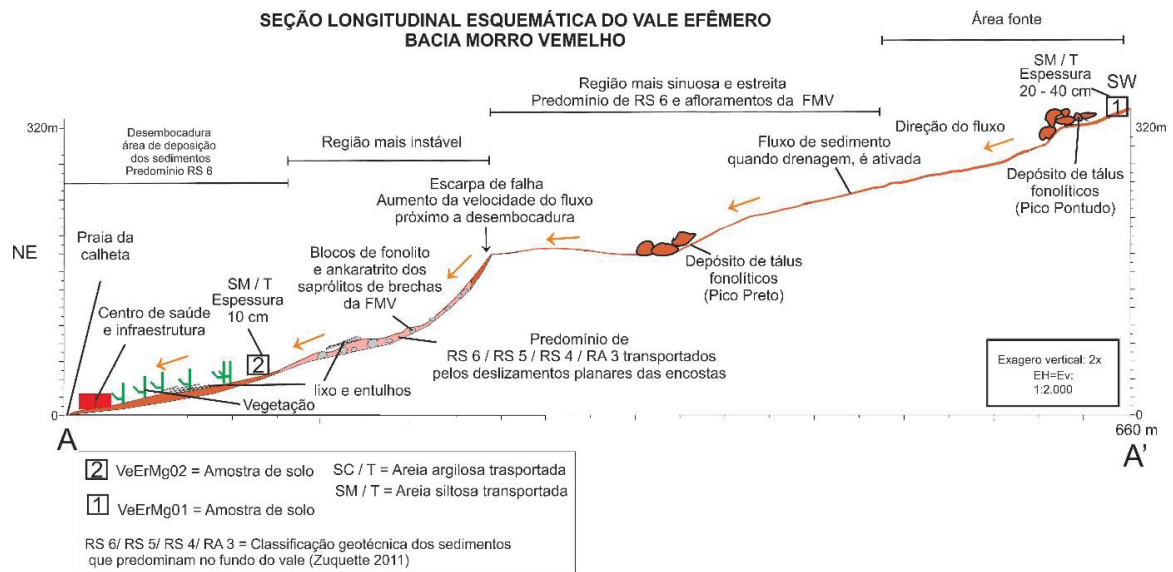


Figura 5-3: Seção A –A' esquemática do vale erosivo.

Nesta área foram identificados 38 movimentos de massa gravitacionais:

- Deslizamentos planares de solo e saprólito da Formação Morro Vermelho: 16 (dimensões que variam de 19 até 2976 m², cobrindo 5815m² da zona);
- Depósitos de talus constituídos por rochas fonolíticas do Complexo Trindade: 6 (dimensões que variam de 57 até 5820 m², cobrindo 13690 m² da zona);
- Depósitos de talus constituídos pelos materiais inconsolidados da Formação Morro Vermelho: 15 (dimensões que variam de 356 até 8183 m², cobrindo 34811 m² da zona);
- Depósito de talus submoderno, termo utilizado no presente estudo para depósitos já encobertos por vegetação e sobreposto por outras feições: 1 (dimensões de 2356 m²).

E também 69 feições de erosão:

- Erosão marginal: 11 (dimensões que variam de 200 até 1124 m², cobrindo 9950 m² da zona);

- Erosão biogênica: 8 causada pela espécie *Guilandina bonduc* (dimensões que variam de 16 até 218 m², cobrindo 3604 m² da zona);
- Frente erosiva em sopé de tálus do Complexo Trindade: 1 (dimensão de 407 m²);
- Ravinas: 38 (comprimento varia de 2,3 até 179 m);
- Sulcos: 10 (comprimento varia de 3,4 até 27 m).
-

A zona da desembocadura do vale próxima da ocupação foi selecionada para análise temporal, no qual é possível notar o aumento de erosão e da área de depósito dos sedimentos do vale desde 2005 (Figura 5-4).

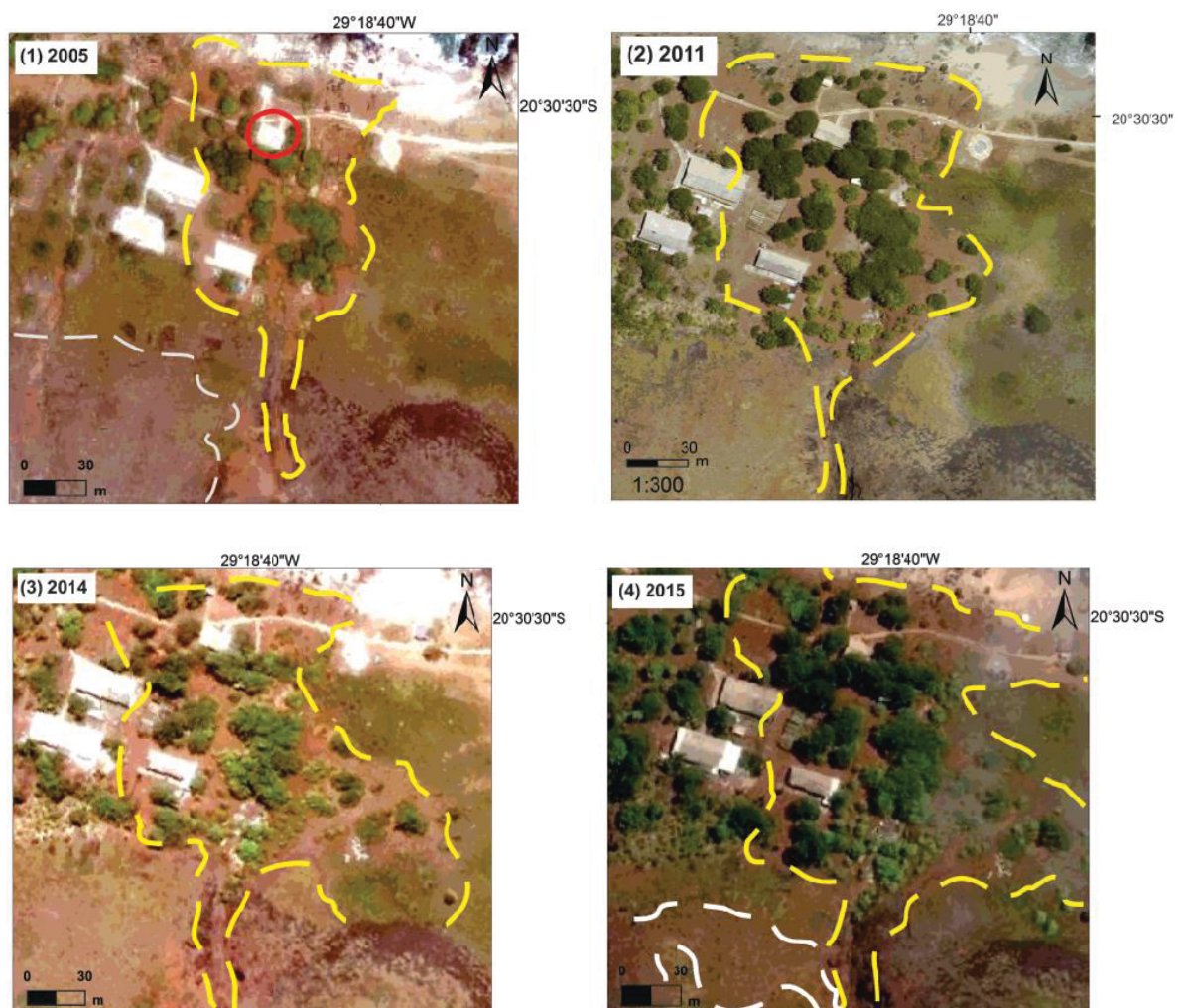


Figura 5-4: Imagens de 2005, 2011, 2014 e 2015, para análise temporal da desembocadura do vale erosivo.

5.1.4.2 Unidade 2

Essa zona trata-se da encosta localizada na porção leste (figura 21) na qual se concentra a maior parte das feições erosivas lineares da área de estudo.

A seção esquemática da Figura 5-5 explicita como funciona a dinâmica dos processos erosivos na encosta ativa dessa unidade.

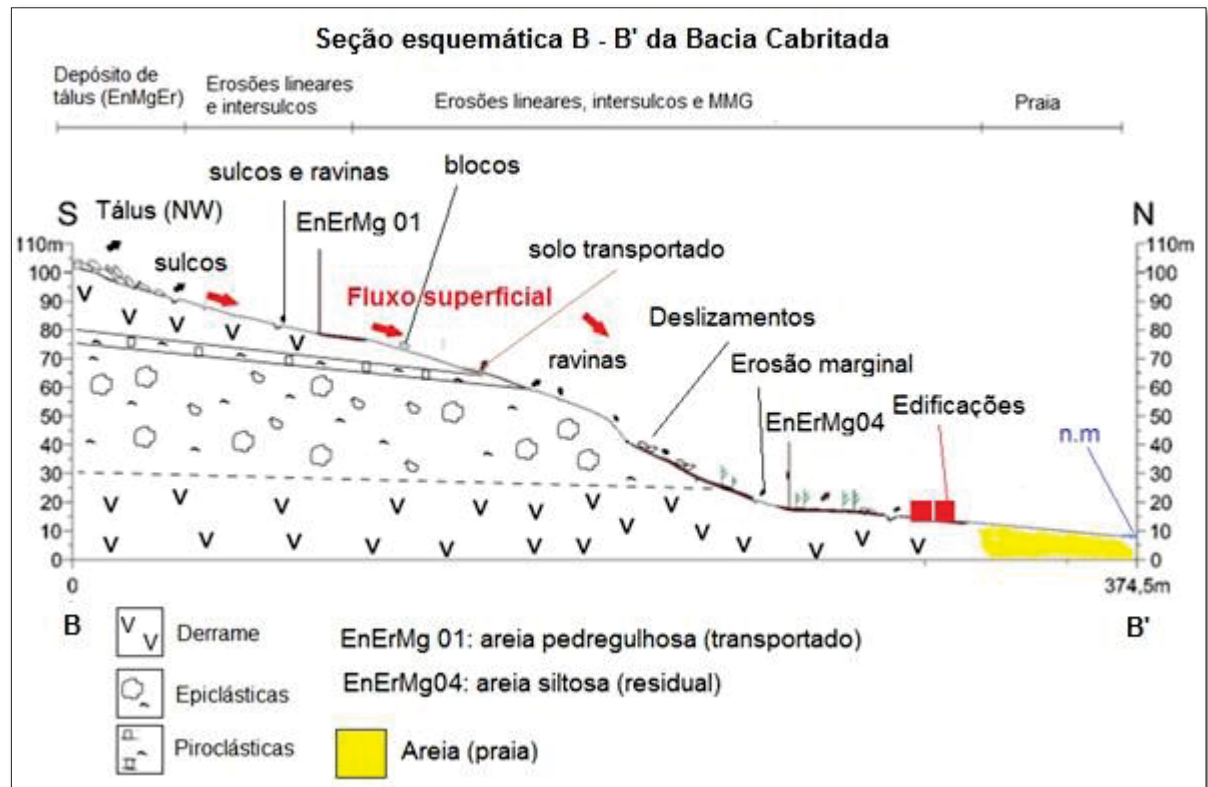


Figura 5-5: Seção B – B' esquemática da encosta da Unidade 2.

Na área foram identificados 107 feições erosivas:

- 36 feições erosivas lineares: (comprimento varia entre 6,5 e 99,12 m)
- 3 ravinas causadas pelo aceleração da erosão pelas trilhas (comprimento varia entre 72 e 233 m)
- 26 sulcos (comprimento varia entre 4,8 e 39 m)
- 3 erosões marginais (dimensão varia entre 141 e 226 m²)
- 38 intersulcos (dimensão varia entre 86 e 6684 m²)

E foram identificados 54 movimentos de massa gravitacionais:

- 1 depósito de tálus com sedimentos da Formação Morro Vermelho (dimensão de 4275 m²)
- 53 deslizamentos planar (dimensão varia entre 203 e 5968,7 m²)

A Figura 5-6 mostra o registro em diferentes anos da encosta. É interessante notar que existe um padrão no qual a região central do vale sempre está ativo, isto devido a curvatura da encosta que reflete numa inflexão do terreno (Figura 5-6), tornando-se caminho preferencial para a canalização de água. Esse fato é evidenciado também pela presença de rastejo na porção central da encosta

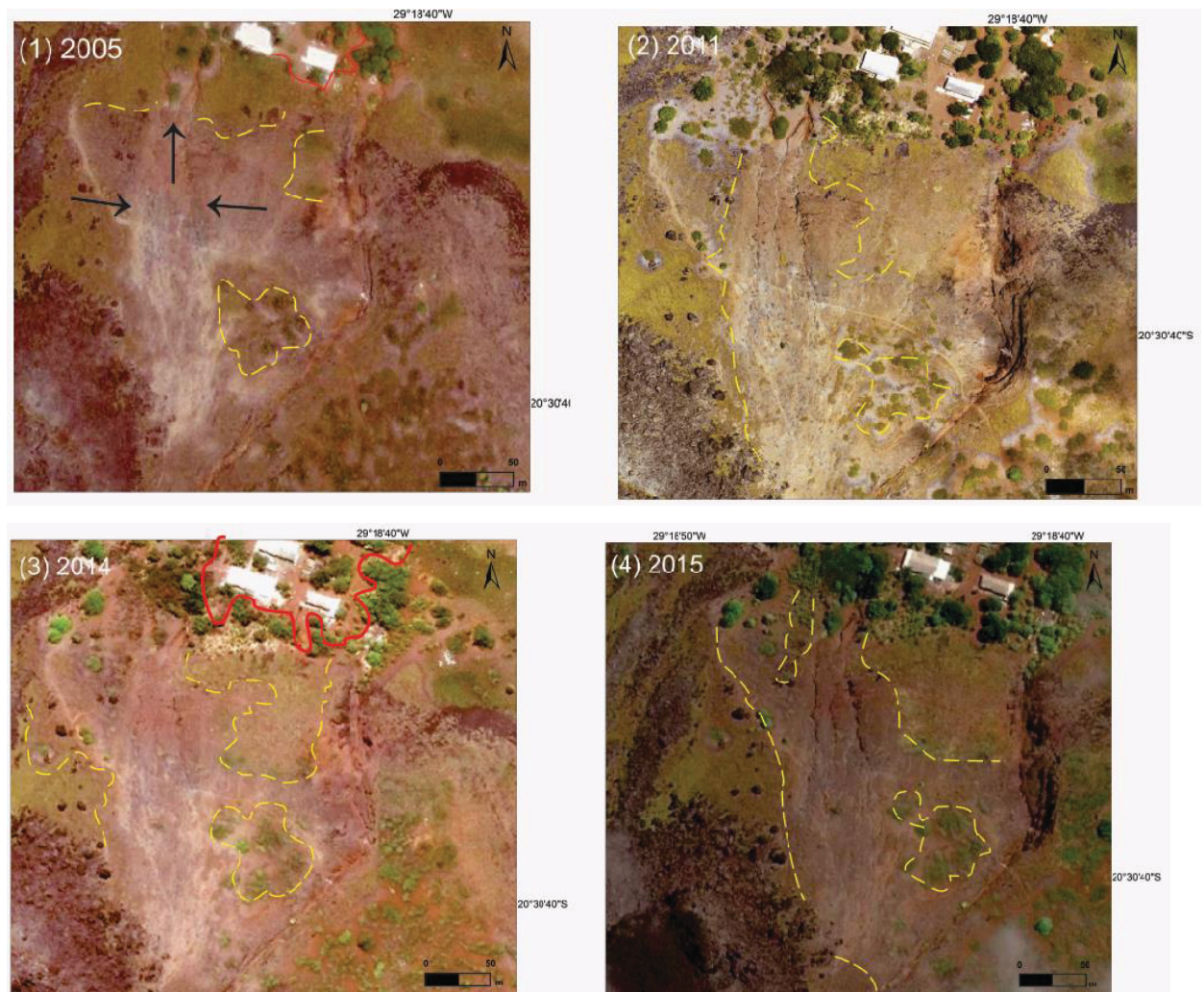


Figura 5-6: Imagens de: 2005, 2011, 2014 e 2015 para análise temporal da encosta. Os tracejados em amarelo limitam a vegetação e em vermelho o limite da vegetação em relação as edificações.



Figura 5-7: Encosta com destaque para área ativa da encosta e as direções da curvatura do terreno (Fotografia: 2018).

5.1.4.3 Unidade 3

Essa zona está localizada no setor oeste da área de estudo, na qual se concentram as vias preferenciais de transporte e deposição de blocos de rochas. Nesse setor da área de estudo foram identificados 63 depósitos de tálus fonolíticos com dimensões que variam de 144,5 até 27826,2 m². Os diâmetros dos blocos variam de < 1 m até > 30 m.

A Figura 5-8 mostra uma seção geológica-geotécnica esquemática para representar os depósitos de tálus na encosta da Unidade 3.

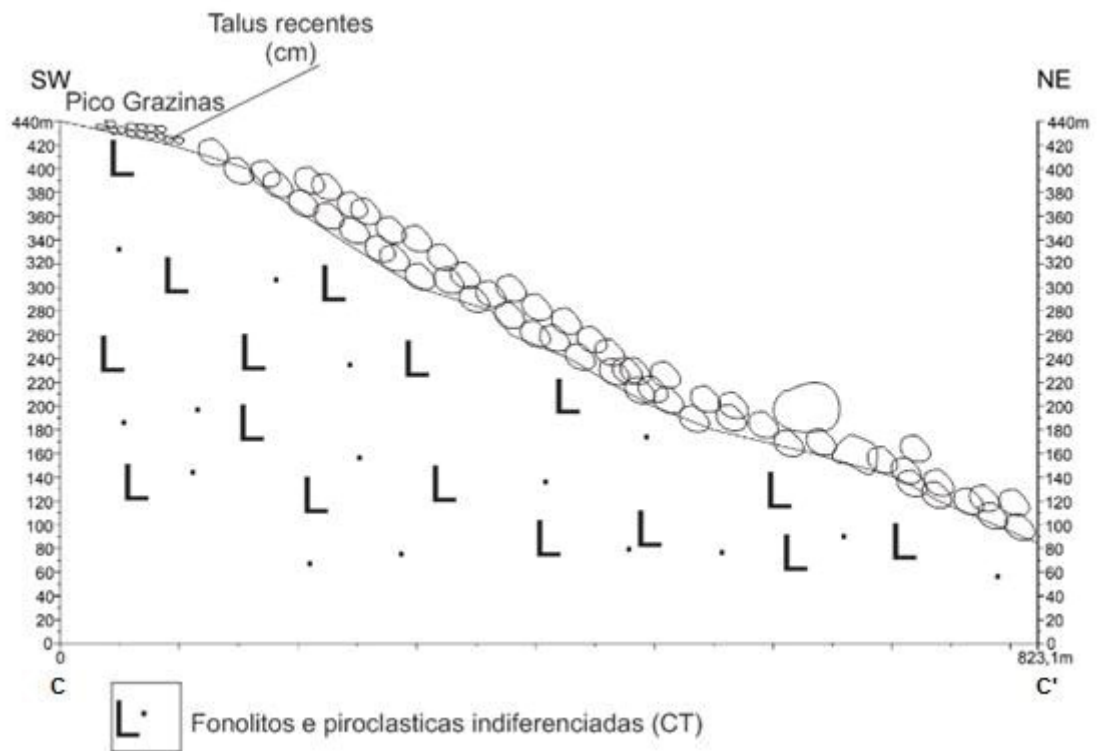


Figura 5-8: Seção esquemática C - C' da Unidade 3.

Para análise temporal de imagens aéreas foi escolhido o setor mais próximo da ocupação, a fim de tentar identificar se esses depósitos apresentam alguma atividade (Figura 5-9). Não foi identificado atividade dos depósitos de talus, no entanto de 2005 até 2015 houve um avanço da erosão de jusante para montante, ocasionada pela espécie não endêmica *Guilandina bonduc*.

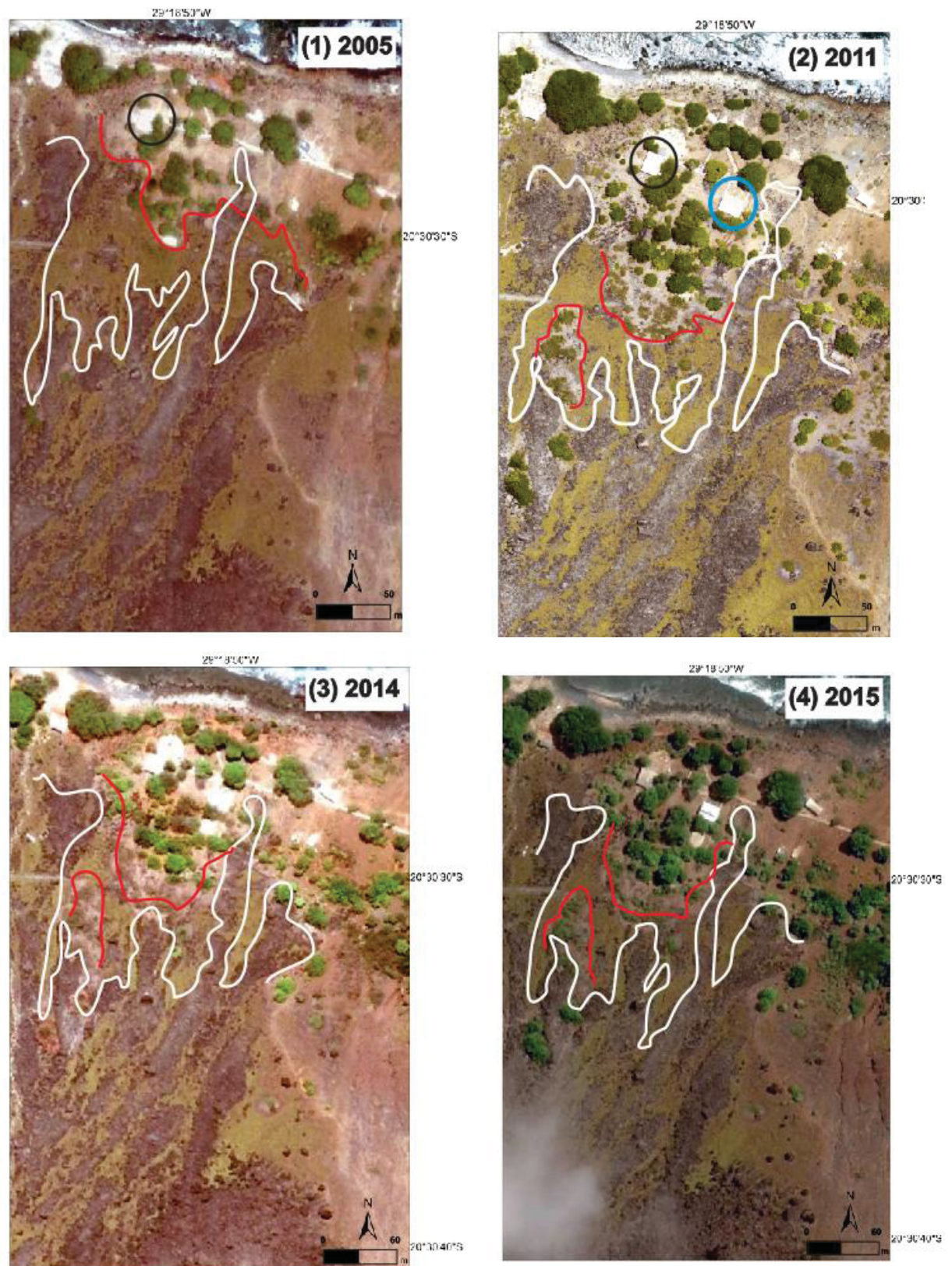


Figura 5-9: Imagens de 2005, 2011, 2014 e 2015 para análise temporal da encosta.

5.1.4.4 Unidade 4

Essa zona é constituída pelos afloramentos de rochas, que são as áreas fontes dos depósitos de blocos da Unidade 3 e correspondem aos *necks* (Preto e Pontudo) e domo (Grazinas) vulcânicos, da formação CT (5-10) (Figura 5 – 10).



Figura 5-10: Localização das estruturas vulcânicas (necks e domo) ainda preservadas que constituem essa zona. D = diâmetro, E = elevação e P = perímetro (fotografia: 2018).

Foram identificados os processos de MMG do tipo queda e tombamento de blocos. Os blocos desprendidos desses picos tendem a se depositar na direção (NE) onde as instalações da ocupação estão localizadas.

5.1.5 CONCLUSÕES

- As Unidades 1 e 2 apresentam dinâmica extremamente ativa onde o solo não tem tempo suficiente para se desenvolver, sendo transportado pela ação das águas das chuvas até o sopé das encostas. Outro indicador que as feições erosivas estão ativas nessas áreas é a escassez de vegetação.
- Os fluxos dos blocos relacionados as zonas 3 e 4 aparentemente estão estáveis, no entanto existe a possibilidade de instabilização do conjunto, o que podendo colocar a ocupação em risco, considerando que a direção dos fluxos estão direcionados para ocupação.

- A atual ocupação está em condição vulnerável, sendo necessário mais investigações geológicas-geotécnicas para serem tomadas medidas preventivas para evitar danos aos ocupantes.

REFERÊNCIAS

ANGULO, R.J.; SOUZA, MC.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; FERNANDES, L.A.; GUEDES, C.C.F.; OLIVEIRA, L.H.S.; MANZOLLI, R.P; DISARÓ. S.T.; FERREIRA, A.G.; MARTIN, C.M. 2018 Quaternary sea level changes and coastal evolution of the island of trindade, brazil. *Journal of south american earth sciences*, 84:208-222 p.

ALMEIDA, F.F.M. de. 1961. *Geologia e petrologia da ilha de trindade*. Rio de janeiro: Div. Geol. Miner. DNPM, mapa. (monogr. XVIII), 198 p.

ALMEIDA, F.F.M. de. 2002. Ilha de Trindade: registro de vulcanismo cenozoico no atlântico sul, in: Schobbehaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbet, B.M. (org.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos: 369 – 377 p.

BĂLTEANU, D., CHENDEȘ, V., SIMA, M., ENCIU, P. 2010. A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania. *Geomorphology* 124: 102–112 p.

BRABB, E.E. 1991. The world landslide problem. *Episodes* 14 (1), 52–61 p.

BRABB, E.E., HARROD, B.L. (EDS.). 1989. *Landslides: extent and economic significance*. A.a. balkema publisher, rotterdam. 385 p.

CARDINALI, M., ANTONINI, G., REICHENBACH, P., GUZZETTI, F. 2001. Photo geological and landslide inventory map for the upper tiber river basin. Cnr, gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, publication n. 2116, SCALE 1:100,000.

CARDINALI, M., GALLI, M., GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., REICHENBACH, P. BARTOCCINI, P. 2006. Rainfall induced landslides in december 2004 in South-Western Umbria, Central Italy: types, extent, damage and risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 237–260 p.

CORDANI, U. G. 1970. Idade do vulcanismo do oceano atlântico sul. São Paulo: Instituto de Geociências e Astronomia, Boletim IGA, 1: 9-75 p.

DELAUNAY, J. 1981. Carte de France des zones vulnérables a des glissements, écroulements, affaissements et effondrements de terrain. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 81. SGN 567 GEG, 23 p.

GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., CARDINALI, M., GALLI, M., ARDIZZONE, F. 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*: 72, 272–299 p.

HERNÁNDEZ, M. F.; PAREDES, C.; CASTEDO, R.; ILORENTE, M.; VEGA-PANIZO, R. 2012. Rockfall detachment susceptibility map in el Hierro Island, Canary Islands, Spain. *Nat hazards*: 64:1247–1271 p.

KOULI, M.; LOUPASAKIS, C.; SOUPIOS, P.; ROZOS. D.; VALLIANATOS, F. 2014. Landslide susceptibility mapping by comparing the wlc and wofe multi-criteria methods in the west crete island, Greece. *Environ Earth SCI* 72: 5197–5219 p.

RADBRUCH-HALL, D.H., COLTON, R.B., DAVIES, W.E., LUCCHITTA, I., SKIPP, B.A., VARNES, D.J. 1982. Landslide overview map of the conterminous United States. U.S. Geological Survey Professional Paper: 1183 p.

TRIGILA, A., IADANZA, C., SPIZZICHINO, D., 2010. Quality assessment of the Italian landslide inventory using Gis processing. *Landslides* 7: 455–470 p.

TSANGARATOS, P.; LOUPASAKIS, C.; NIKOLAKOPOULOS, K.; ANGELITSA, V.; ILIA, L. 2018. Developing a landslide susceptibility map based on remotesensing,

fuzzy logic and expert knowledge of the island of Lefkada, Greece. *Environmental Earth Sciences*: 77:363 p.

Van Westen, C.J., Castellanos Abella, E.A., Sekhar, L.K. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology* 102: 112–131 p.

VENTISETTE. C. del; G. RIGHINI¹, S. MORETTI, N. CASAGLI. 2014. Multitemporal landslides inventory map updating using spaceborne SAR analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 30: 238–246 p.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. 2004 *Cartografia geotécnica*. São Paulo: Oficina de Textos, 190 p.

.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES COMPLEMENTARES

Os resultados referentes as cinco unidades predisponíveis a eventos perigosos, que não foram apresentados no capítulo anterior, serão apresentados a seguir. Os mapas de inventário de feições erosivas e MMG e de cobertura vegetal estão no anexo 2 e 3, respectivamente.

5.2.1 ÁREA DE ESTUDO E IMPLICAÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

A zona onde está localizada a infraestrutura da ocupação (figura 3) pertence a quatro bacias hidrográficas com drenagens de no máximo segunda ordem, denominadas neste trabalho como: Desejado, Almirante, Cabritada e Morro Vermelho (figura 4). A partir dessas bacias a área de estudo foi delimitada (0,488 km²) (figura 6 -1).

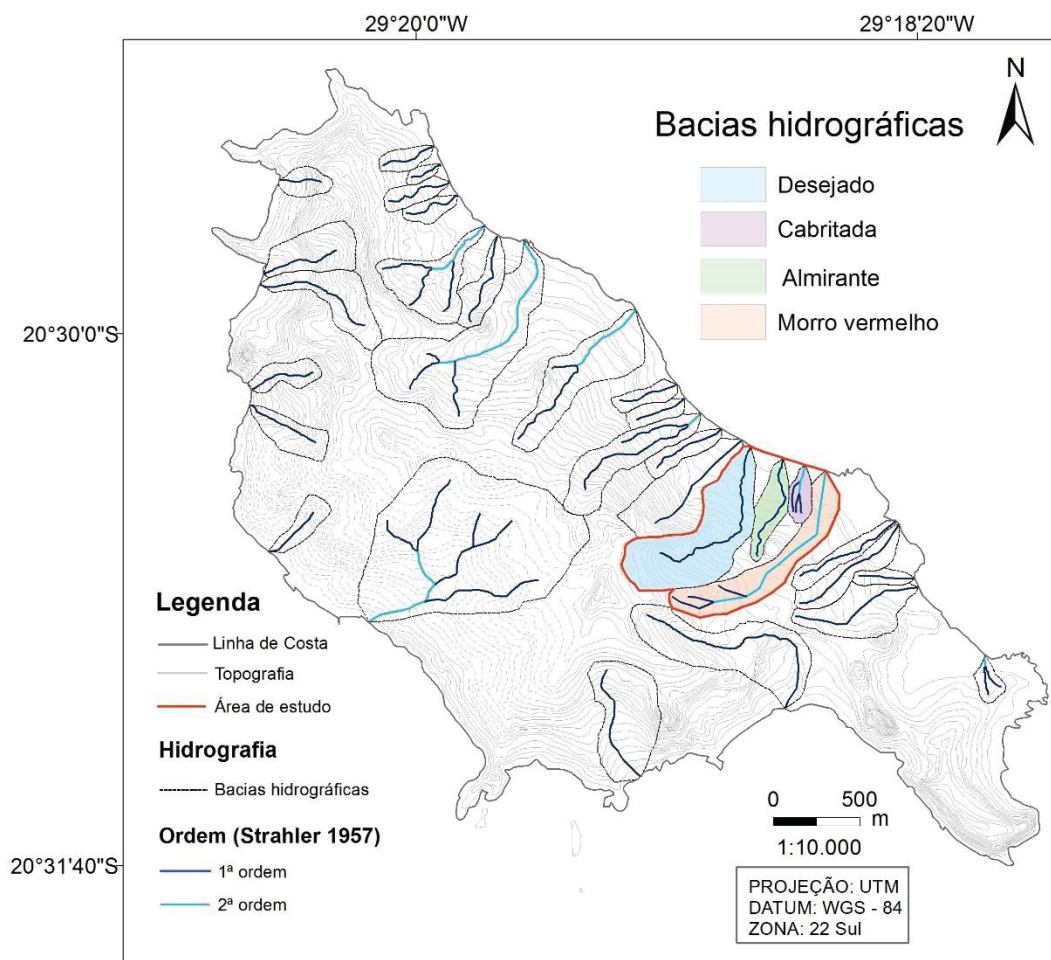


Figura 5-11: Mapa das bacias hidrográficas da Ilha da Trindade.

O sistema de drenagens disponíveis do mapa geológico de Almeida (1961) e da carta náutica não eram adequados, por isso foi necessário traçar novamente as drenagens através de fotointerpretação aliada a trabalhos de campo. Com o detalhamento as drenagens foram corrigidas e determinadas novas drenagens ainda não mapeadas na literatura (figura 6-2).

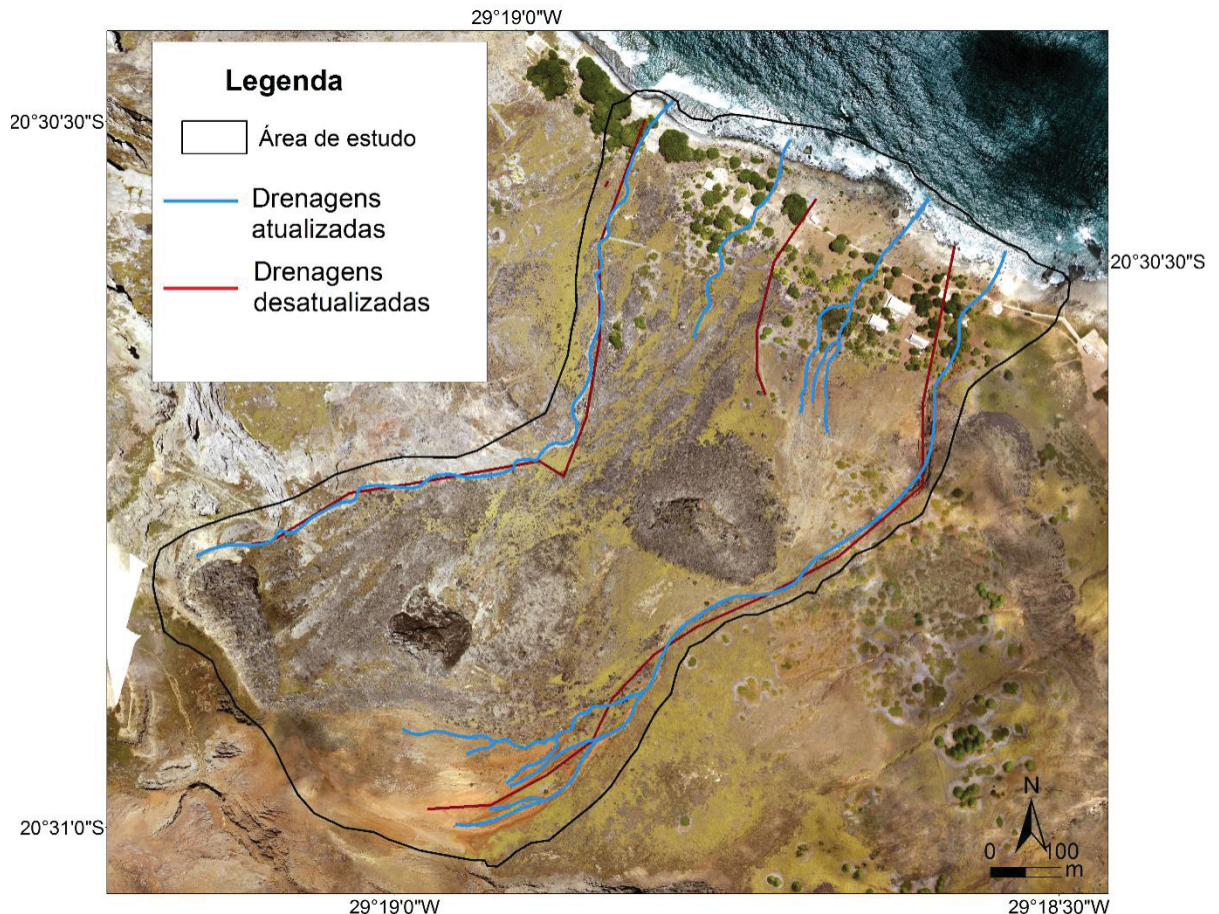


Figura 5-12: Mapa da atualização da rede de drenagem da área de estudo.

A drenagem pertencente a bacia Desejado (Figura 6-1) no limite oeste da região de investigação é a única do tipo perene da área de estudo, indicada pela seta branca na Figura 6.3, com vazão alta devido aos eventos de chuvas. A Figura 6-3c mostra a área de descarga da drenagem pertencente a bacia Almirante com deposição de lama nas instalações da ocupação. A Figura 6-3b mostra a drenagem pertencente a bacia Cabritada ativa, e a Figura 6-3d a bacia Morro Vermelho, mostrando a área de descarga do vale na Praia da Calheta, na qual é possível notar o transporte de lama pela coloração vermelha da água do mar.

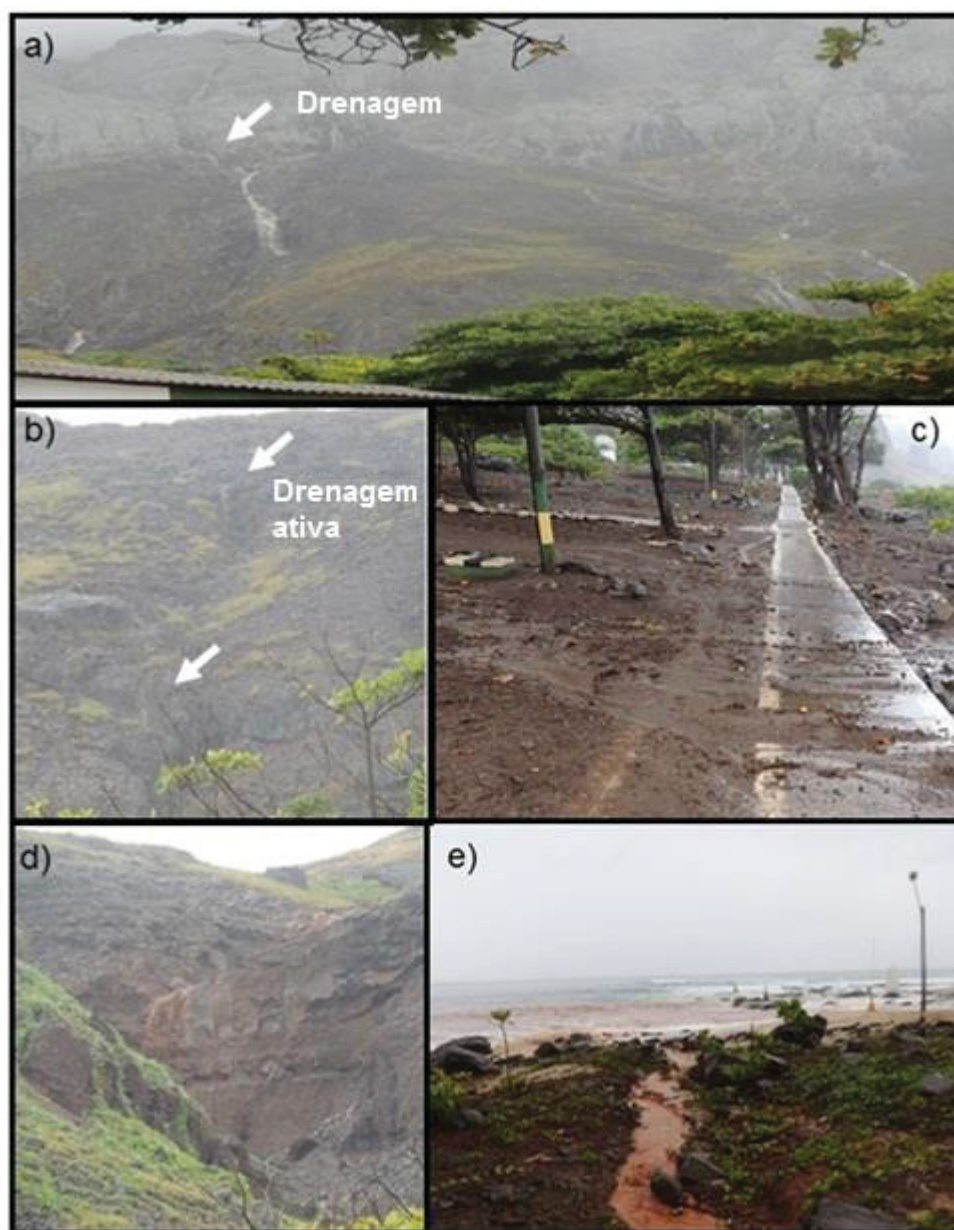


Figura 5-13: Detalhe das bacias hidrográficas: a) Bacia Desejado; b) Bacia Cabritada; c) desembocadura da Bacia Almirante; d) e e) referentes a Bacia Morro Vermelho (Fotografias: abril de 2018).

5.2.2 COBERTURA VEGETAL DA ÁREA DE ESTUDO

A cobertura vegetal é um importante atributo para análises de processos naturais, pois além de serem indicadores de feições ativas, dependendo do tipo de espécie que ocorre em uma área pode ser deflagradora dos processos. Visto isso o Anexo 3 é referente ao mapa de inventário dos tipos de vegetações reconhecidas na área de estudo e a figura 6-4 destaca os tipos de espécies encontradas.

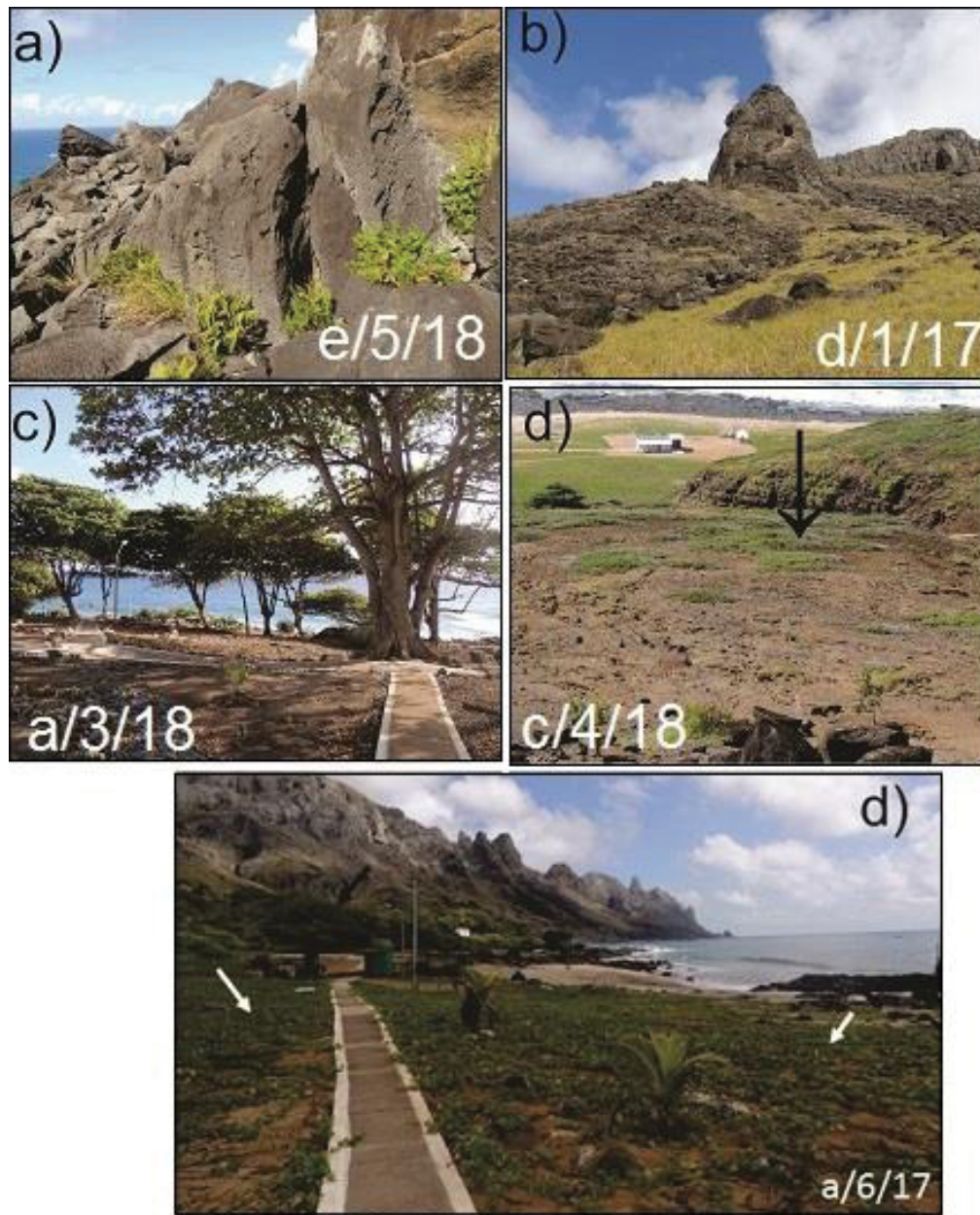


Figura 5-14: Espécies mapeadas na área de estudo: a) *Pityrogramma calomelanos*; b) *Cyperus atlanticus*; c) *Terminalia catappa*; d) *Guilandina bonduc* e e) *Ipomoea pes-caprae*.

5.2.3 UNIDADES PREDISPONÍVEIS AOS PROCESSOS PERIGOSOS

5.2.3.1 Unidade 1

Na região a jusante e mais profunda (17 m) do vale, afloram rochas epiclásticas nos estratos inferiores, com grau de intemperismo 5 nas porções da matriz, estas mal selecionadas, e nos blocos que compõem essas camadas foi

identificado grau de intemperismo 4 (fonolitos e ankaratritos) e 5 (lapilito e fragmento de escórias). Acima dessa sequência afloram os ankaratritos, estes bem fraturados, com grau de intemperismo 4, no entanto na base e no topo desses derrames ocorrem autobrechas, bem vesiculadas, com grau de intemperismo 5. Foi identificado vazios nas camadas do estrato inferior, referente aos blocos já erodidos do afloramento, gerando instabilidade na encosta, o que facilita processos de deslizamentos planares

Também foi identificado o processo de fluxo de lama, provocado pelas águas das chuvas que ativam a drenagem e transportam sedimentos finos (solos) da área fonte até a área de descarga do vale.

A Figura 6-5 mostra o processo de escoamento superficial. A Figura 6-5a revela a área fonte dos sedimentos (seta preta) que são transportados até as áreas mais baixas do vale (seta branca). Notar a recuperação da vegetação na região a montante do vale e a ausência a jusante, o que indica que está ocorrendo processo erosivo acelerado na área de descarga do vale. Já a figura 6-5b detalha a porção mais elevada do vale onde ocorrem saprólitos de lapilíto com grau de intemperismo entre 4 e 5. E a Figura 6-5c mostra em detalhe o acúmulo dos solos (espessura de 30 cm) que foram transportados pela ação das águas das chuvas, até essa porção mais baixa do vale.

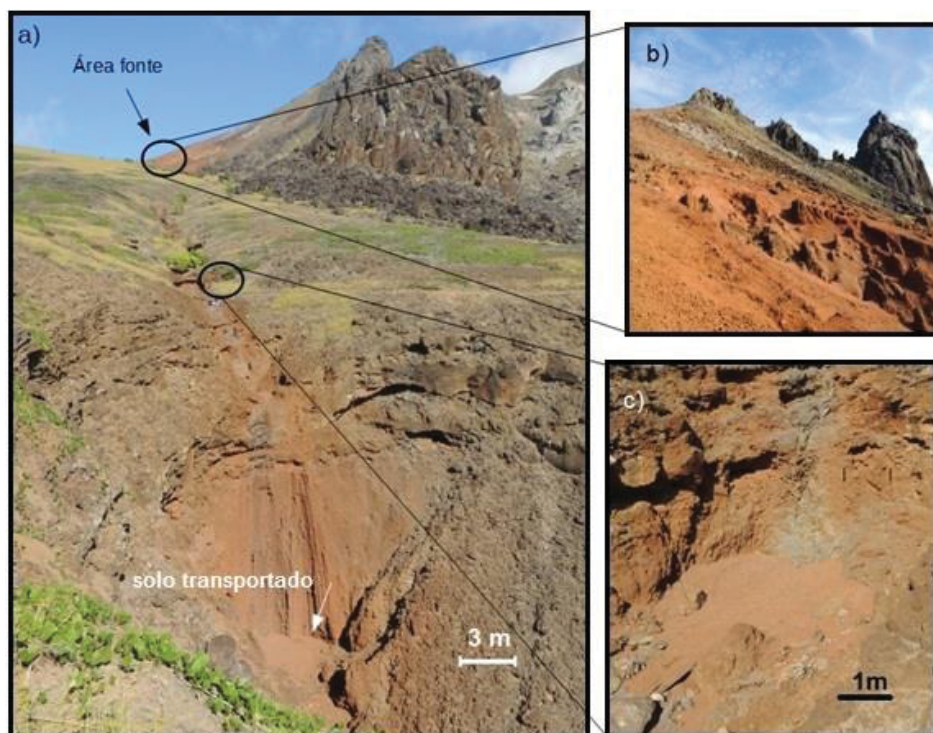


Figura 5-15: Processo de escoamento superficial (Fotografia: abril de 2018).

Já a figura 6-6a mostram o fundo do vale na região de maior altitude, notar que a recuperação da vegetação nas margens e dentro do canal. E na figura 6-6b o fluxo de lama atingiu altura de 32 cm (registrado no tronco da árvore como indicado na figura), no entanto não teve força suficiente para arrastar a árvore pelo canal do vale.

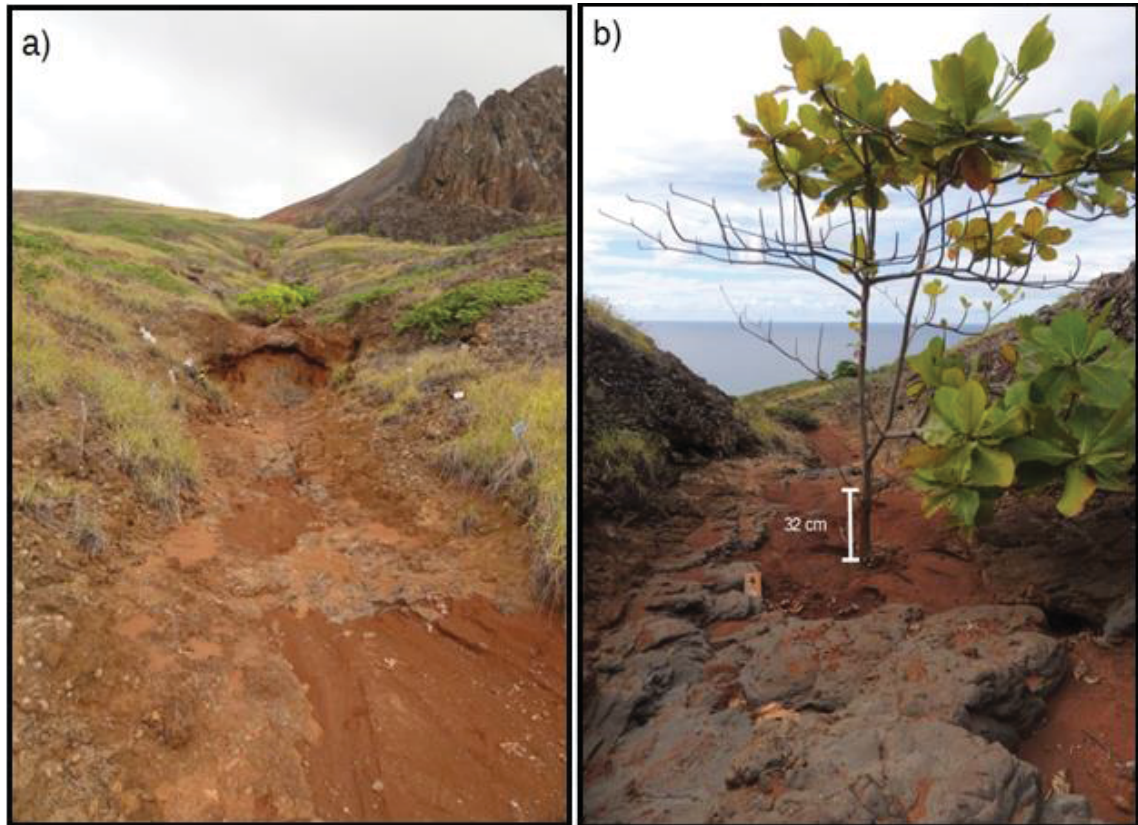


Figura 5-16: a) e b) mostram o fundo do vale na região de maior altitude (Fotografias: 2018).

As Figuras 6-7 e 6-8 mostram os eventos de chuva, observados em campo, que ativaram o fluxo superficial de água no vale e deflagraram o evento de fluxo de lama. No episódio de chuva da Figura 6-7o pluviógrafo da Estação Meteorológica da IT (EMIT) registrou um índice de chuva total de 44 mm em um intervalo de 5 horas. A intensidade máxima foi de 16,5 mm/h e mínima de 2,3 mm/h. Já o episódio da Figura 6-8 o pluviógrafo da EMIT registrou um índice de chuva total de 12 mm em um intervalo de 12 horas. A intensidade máxima foi de 8 mm/h e mínima de 0,43 mm/h. Ambos os registros são do primeiro semestre de 2018.

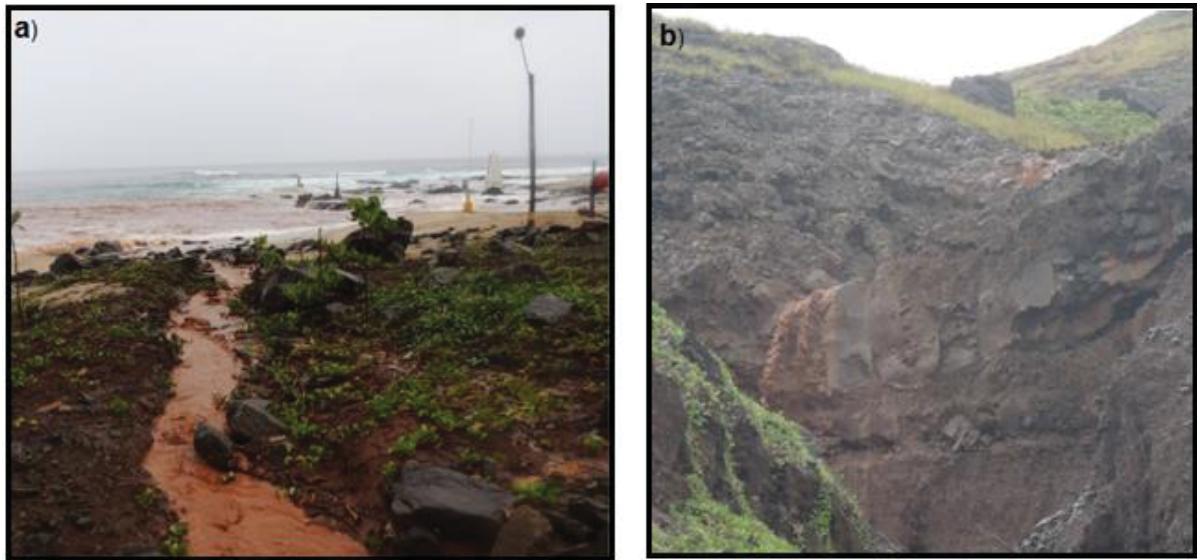


Figura 5-17: As figuras a e b mostram o processo ativo de fluxo de lama, durante as chuvas ocorridas no dia 17 de abril de 2018 (fotografias: 2018).

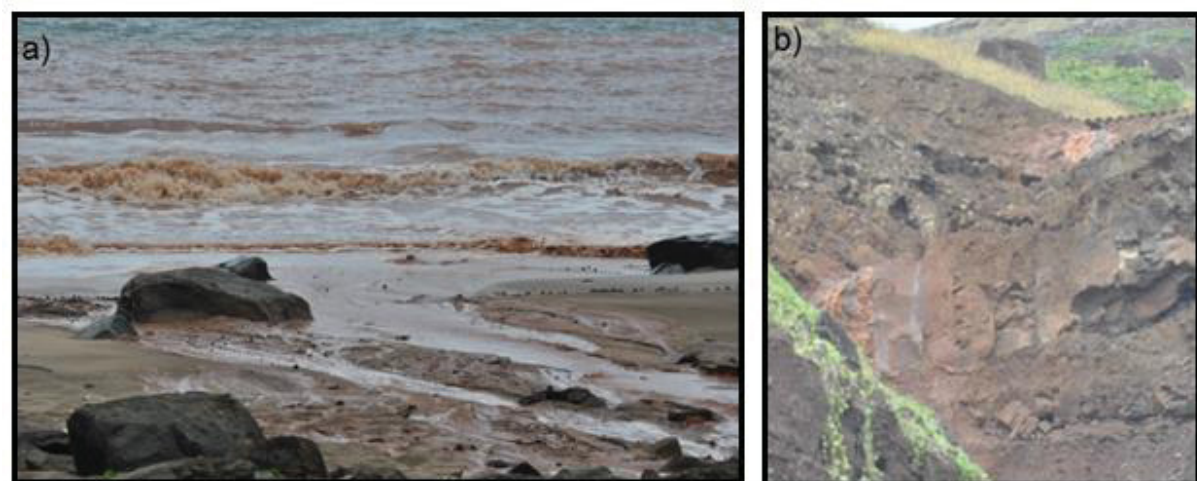


Figura 5-18: As figuras a e b mostram o processo ativo de fluxo de lama, durante as chuvas ocorridas no dia 27 de maio de 2018 (fotografias: 2018).

A infraestrutura de saúde da ilha da Trindade é um dos setores da ocupação mais importante e também é o elemento antropogênico mais próximo da área de deposição dos fluxos de lama, estando localizado apenas 20 m de distância (Figura 6-9). Também foi identificado na foz do vale depósitos de entulhos (Figura 6-10).



Figura 5-19: A área delimitada em vermelho indica a localização da infraestrutura de saúde (enfermaria), assim como a frigorífera, paiol de mergulho e marcenaria, todas muito próximas do vale (seta preta) (fotografia: 2017).



Figura 5-20: As figuras a, b e c mostram os depósitos de entulhos, que são principalmente relacionados com materiais de construção, na foz do vale. Notar que na figura b) o fluxo de lama teve velocidade e intensidade suficiente para deslocar a árvore, blocos de rochas e entulhos (fotografia: 2018).

5.2.3.2 Unidade 2

Essa unidade foi identificada como a mais ativa da área de estudo, por isso teve a topografia do terreno detalhada (mapa topográfico com curvas com equidistância de 1 m) pelo método de posicionamento GNSS/RTK para análise das características reais do terreno que não eram demonstradas pela topografia (20 m de equidistância entre as curvas de nível) até então disponível (Figura 6-11).

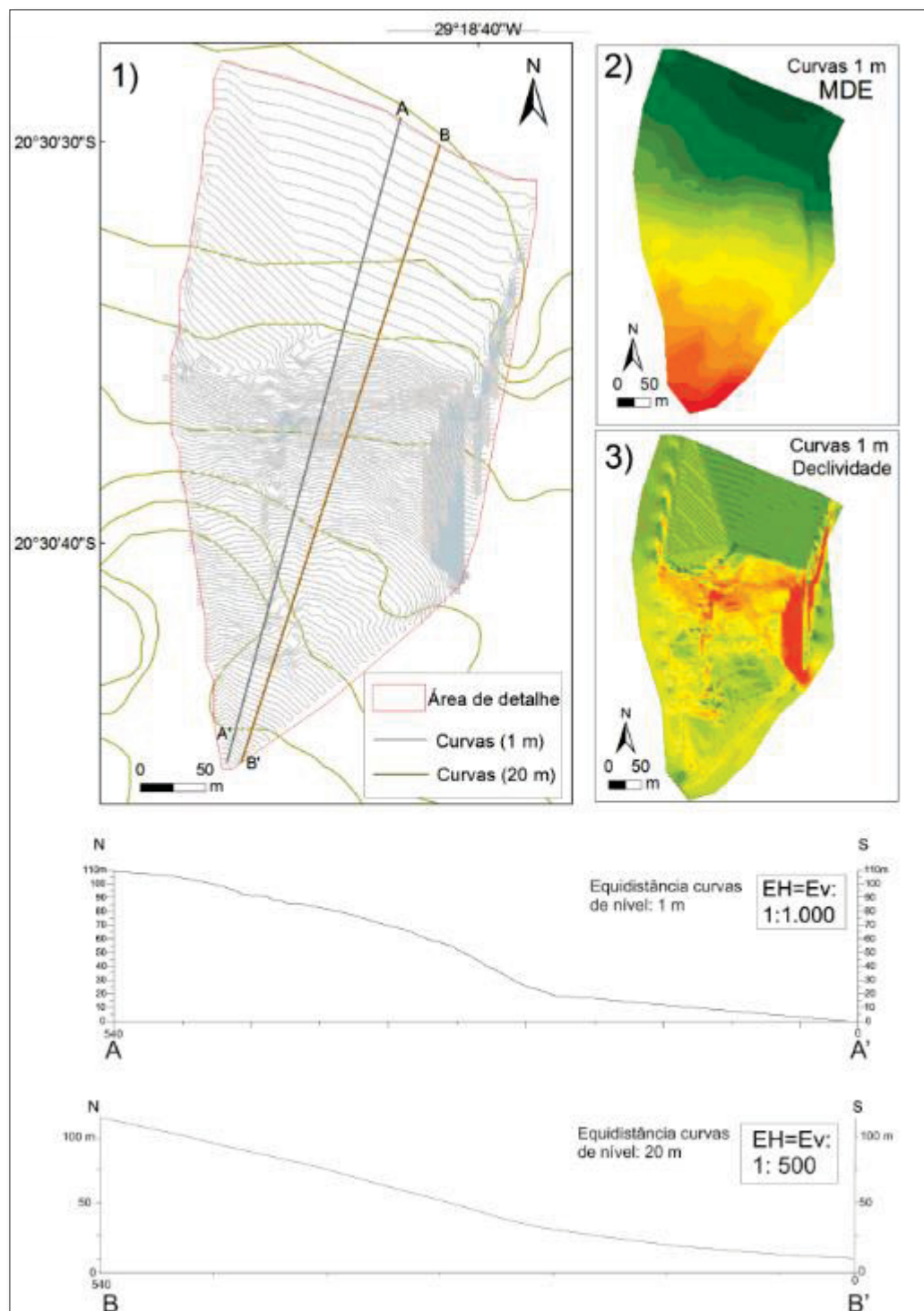


Figura 5-21: Modelagem do terreno por técnicas de geoprocessamento através dos dados obtidos pelo levantamento do terreno pelo RTK. Os perfis mostram a diferença entre o levantamento de detalhe (A-A') e os dados pré existentes (B-B') da topografia.

As erosões lineares na encosta que constitui essa Unidade, evoluem de montante para jusante, onde a ação da água desencadeia processos de alargamento horizontal e aprofundamento vertical. Os movimentos de massa gravitacionais

identificados tratam-se de deslizamento de detritos (solo, saprólito e rochas) localizados nas vertentes das ravinas e quedas de blocos com diâmetros que variam de poucos centímetros até no máximo 20 m, provenientes do pico Preto (*neck* vulcânico fonolítico) na porção oeste da encosta.

A cobertura vegetal concentra-se principalmente nos limites leste e oeste da zona. Também ocorrem árvores de porte pequeno a médio, que no setor central, eventualmente encontram-se inclinadas, processo identificado como indicador de rastejo do terreno (Figura 6 -12), que somado a escassez de vegetação indicam que os processos erosivos estão ativos.

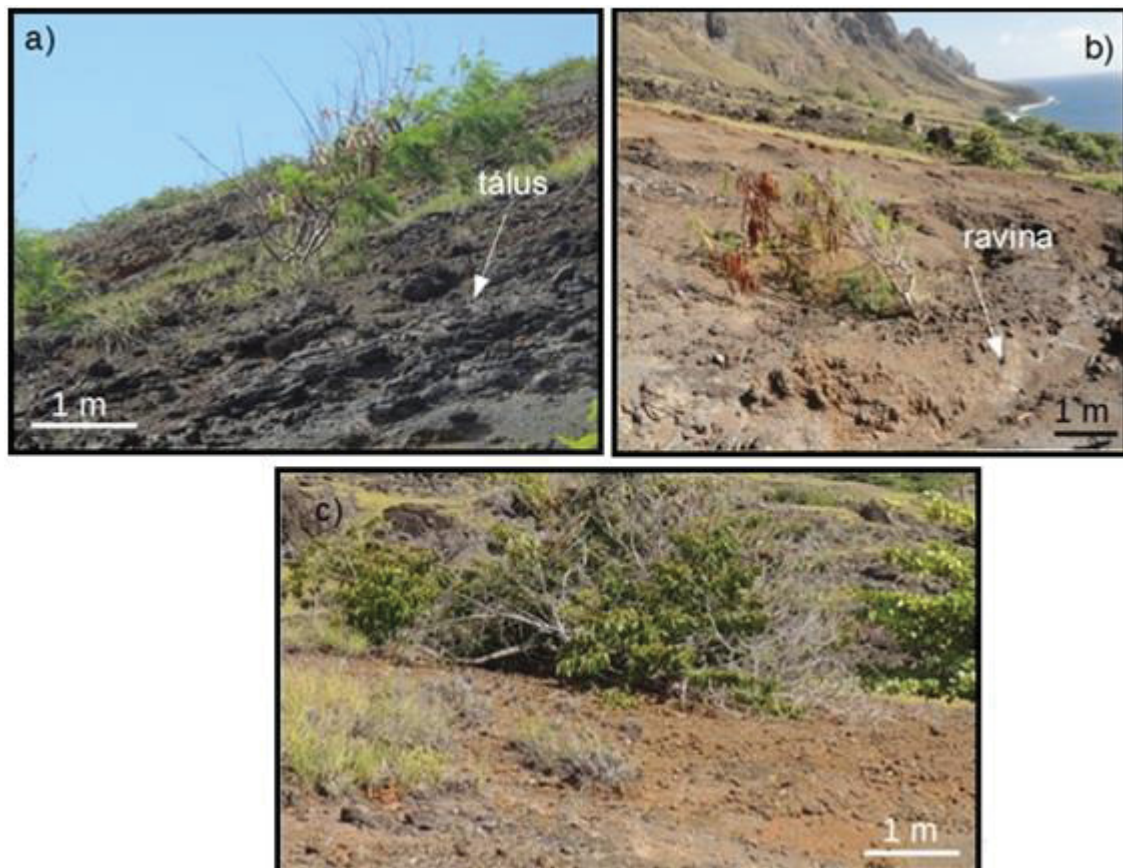


Figura 5-22: Processo de rastejo observado pela inclinação das árvores na encosta (a, b e c) (fotografias: 2018).

Outro indicador da erosão, observado em campo, é a predominância de solos pouco desenvolvidos, rasos (espessuras < 20 cm) e até inexistentes em alguns locais (Figura 6-13).

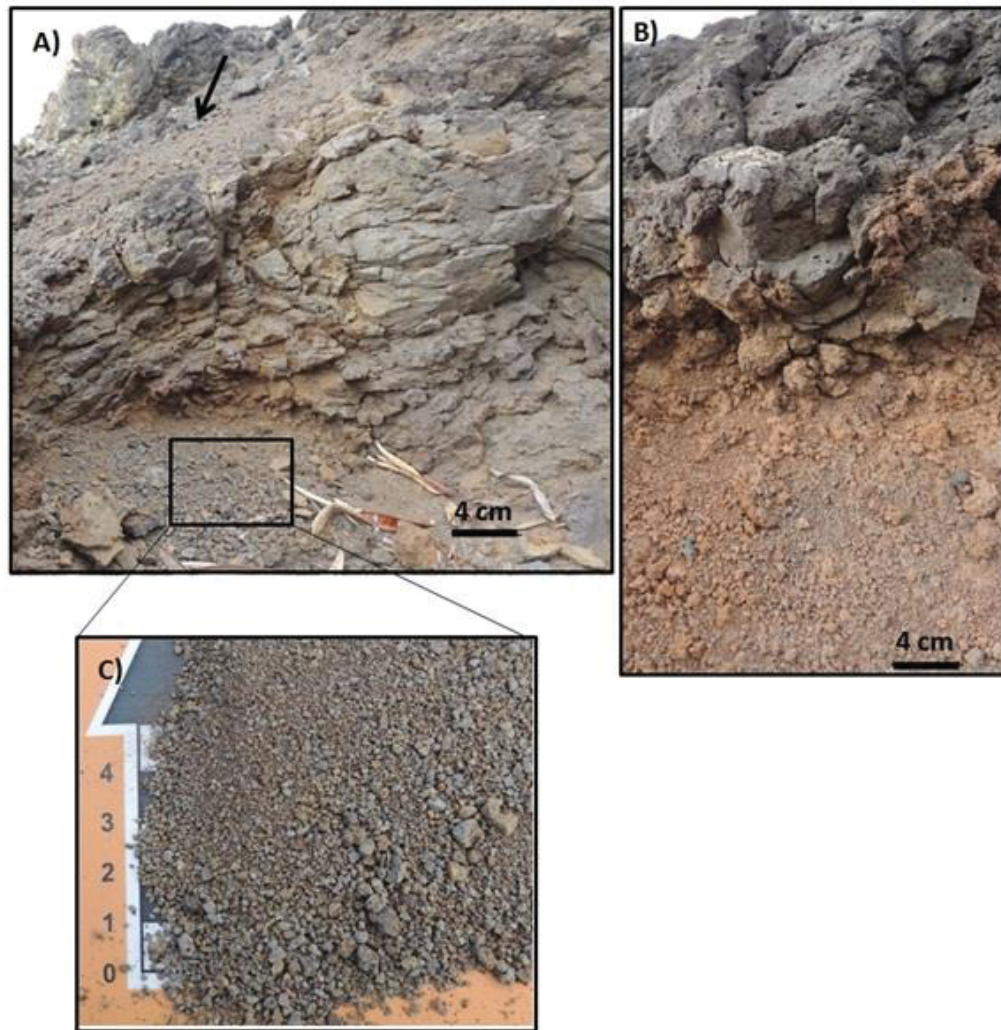


Figura 5-23: a) afloramento recoberto por camada centimétrica de solo transportado; b) afloramento com ausência de solo no topo da sequência; c) detalhe do solo pedregulhoso transportado até o fundo da ravina (fotografias: 2018).

Também foi observado que afloram as rochas da FMV, as mesmas identificadas na Unidade 1. As rochas que afloram na base da sequência da encosta são epiclásticas que variam de tufo-brechas a brechas, mal selecionadas, e apresentam grau elevado de intemperismo. Os blocos que ocorrem nessas rochas são compostos por escórias muito vesiculadas, ankaratritos, lapilitos e também fonolitos da formação mais antiga CT, apresentam grau de intemperismo moderado a elevado, que varia de acordo com o tipo de rocha.

A Figura 6-14a exemplifica essa situação, onde as brechas que compõem o afloramento possuem grau de intemperismo na matriz entre 4 e 5 e os vazios presentes no afloramento são os locais onde os blocos que constituíam as brechas já foram erodidos. Os blocos possuem diâmetro de até 2 m e grau de intemperismo entre

3 e 4. A Figura 6-14b mostra o detalhe da erosão diferencial entre o lapilíto (matriz) e os blocos fonolíticos ainda proeminentes no afloramento, a Figura 6-14c mostra em detalhe os locais onde os processos erosivos já destacaram os blocos das brechas e a 6-14d mostra os blocos (escórias, fonolito e ankaratrito) erodidos do afloramento, estes transportados para o sopé da encosta.

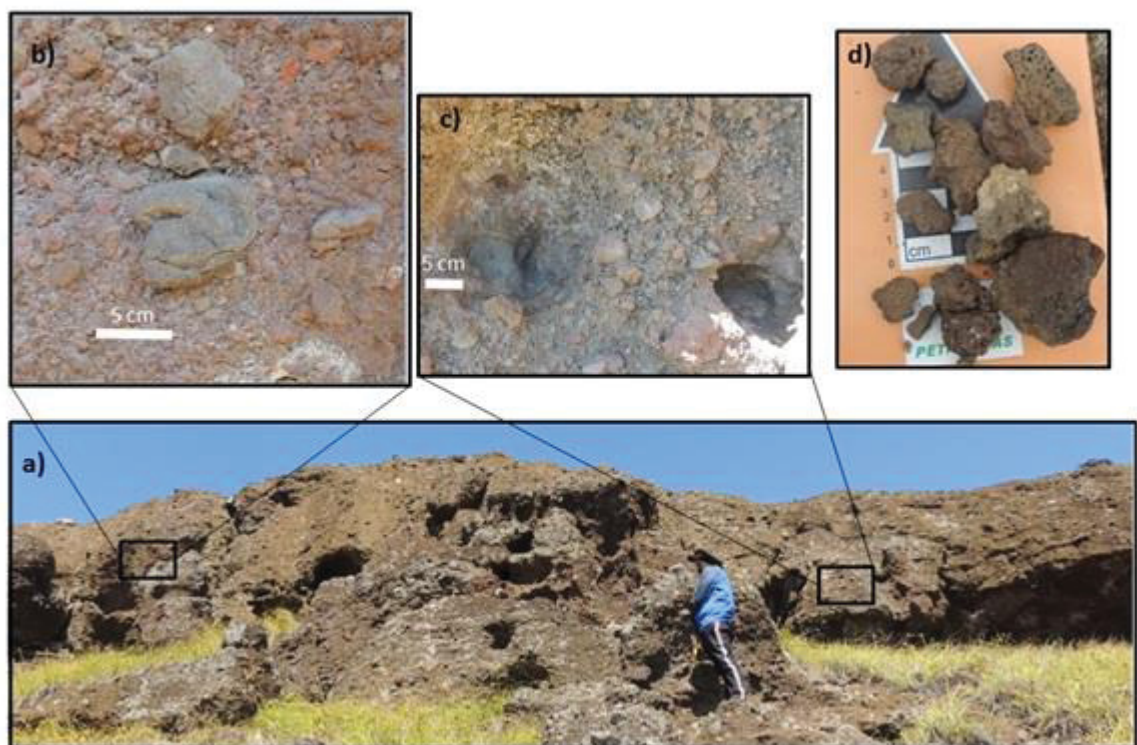


Figura 5-24: afloramento de brechas da FMV (fotografias: 2018).

As rochas piroclásticas tufo, lápili-tufo e lapilíto, que variam de mal a bem selecionadas, apresentam grau de intemperismo elevado nas porções mal selecionadas e intemperismo moderado nas porções bem selecionadas (Figura6-15). Já os ankaratritos localizados no topo da sequência apresentam grau de intemperismo baixo a moderado e estão muito fraturados, e que somados a processos de esfoliação esferoidal culminam em movimentos de massa gravitacionais do tipo queda e rolamento de blocos de dimensões predominantemente centimétricas, mas ocorrem dimensões métricas, que se depositam no fundo das feições lineares.

A Figura 6-15 na qual o estrato superior (a) é constituído por ankaratritos muito fraturados, com grau de intemperismo 2 e no contato com o estrato inferior (b) ocorrem feições que indicam o processo de erosão interna (setas brancas). A base da sequência (b) é formada por saprólito de lapilíto que apresenta grau de intemperismo 5. A seta vermelha indica o processo de deslizamento de detritos (solo e blocos de rocha)

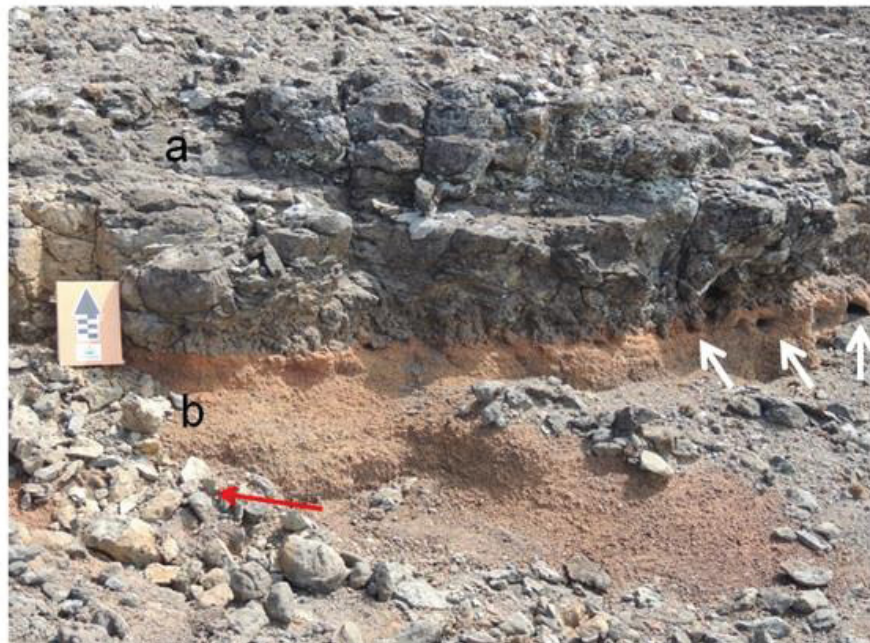


Figura 5-25: Afloramento em vertente de ravina (fotografia: 2018).

A Figura 6-16a-b destacam o processo de esfoliação esferoidal, processo muito comum nas rochas do derrame da Formação Morro Vermelho. A Figura 6-16c mostra o saprólito de ankaratrito com grau 5 de intemperismo e a Figura 6-16d a variação de densidade de vesículas nos ankaratritos, a amostra da direita (muito vesiculada) ocorre no topo e base desses derrames (coincide com as zonas de erosão interna), que conforme se aproxima do centro do derrame a rocha tende a ser pouco vesiculada como a amostra da esquerda.

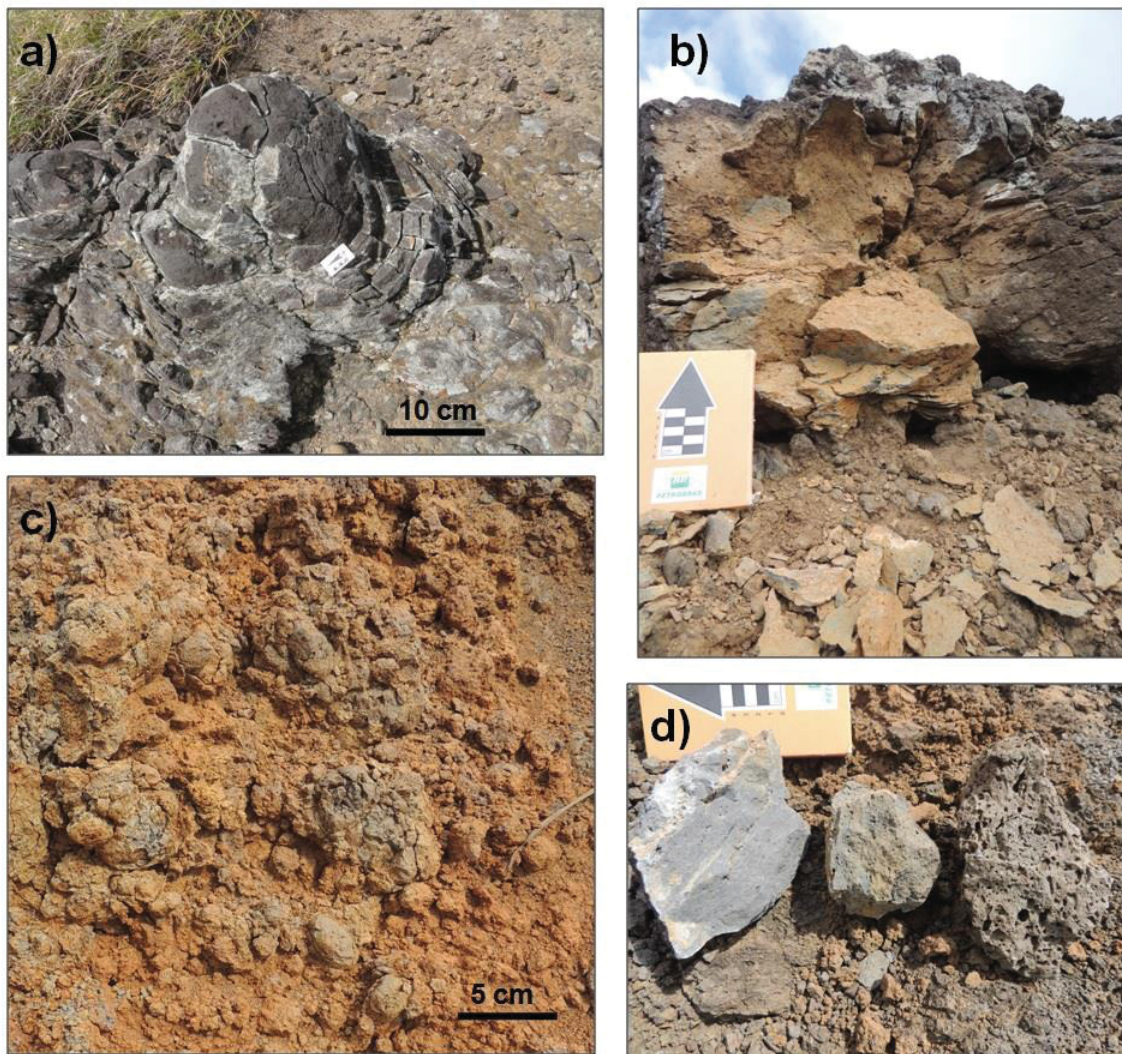


Figura 5-26: a) e b) esfoliação esferoidal; d) variação de densidade de vesículas nos ankaratritos (fotografias: 2018).

5.2.4 Unidade 3

A Figura 6-17 mostra a encosta que compõe a Unidade 3, onde predomina a sobreposição de depósitos de blocos de rochas de composição fonolítica.

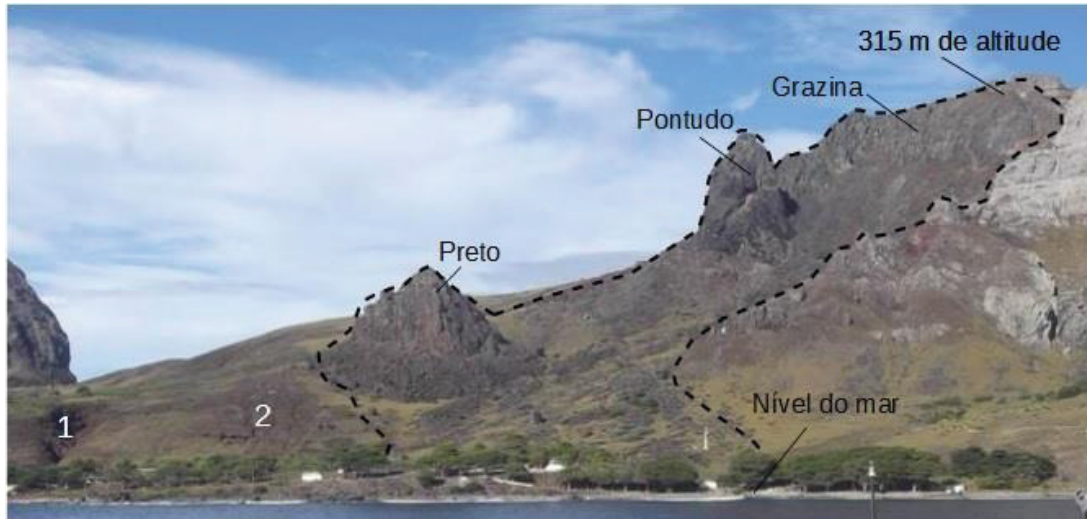


Figura 5-27: O tracejado indica o limite da encosta da Unidade 3 que possui uma amplitude de 315 m. Os indicadores 1 e 2 mostram a localização da Unidade 1 e 2, respectivamente. Na imagem também está em destaque os picos Preto, Pontudo e Grazina que pertencem a unidade 4 (fotografia: 2017).

As feições do terreno nesse setor expõem depósitos de detritos submodernos, estes recobertos por vegetação ou depósitos de tálus, no entanto seu volume ainda é proeminente no relevo. Os depósitos de tálus estão associados em uma sequência deposicional formada por episódios e mecanismos de movimentos de massa gravitacionais distintos.

Também foram identificados depósitos submodernos de tálus sobrepostos, que se diferenciam em geometria, volume e também pelas dimensões dos detritos deslocados (Figura 6-18), além de depósitos recentes gerados por queda e tombamento de blocos que são transportados encosta abaixo recobrindo parte do terreno (Figura 6-19 e 6-20). A área de depósito desses blocos englobam a zona da ocupação (Figura 6-19b).

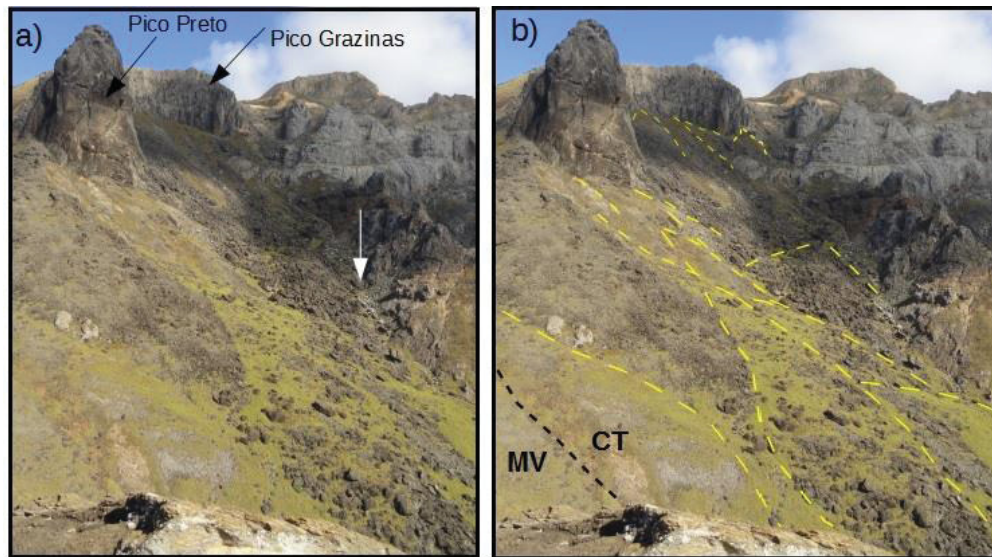


Figura 5-28: a) mostra os depósitos de tálus que recobrem o terreno, estes provenientes do picos Preto e Grazinas nesse setor da encosta. A seta branca indica a localização da drenagem perene da bacia do Desejado; b) os tracejados em amarelo indicam os depósitos submodernos que se destacam no terreno que estão sendo recobertos pelos depósitos recentes (fotografia: 2018).

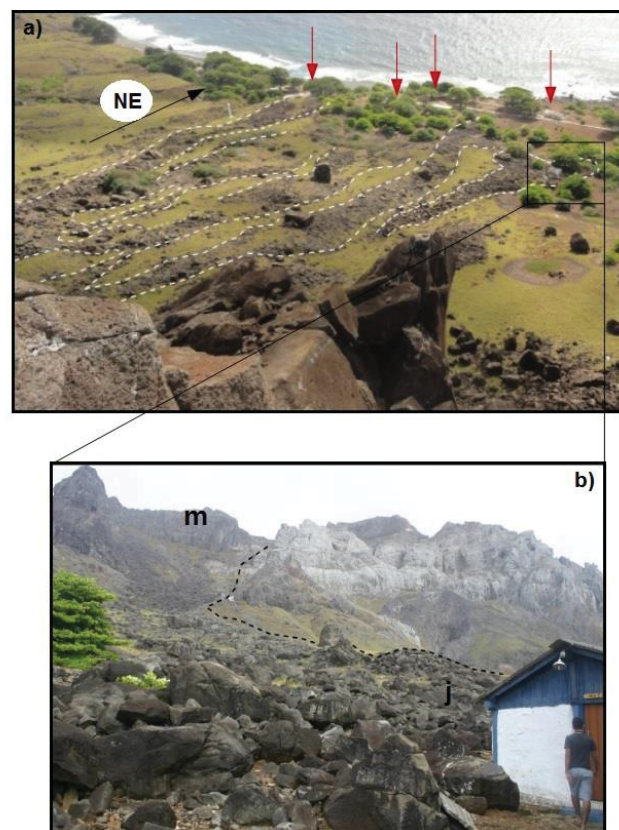


Figura 5-29: a) o tracejado delimita os depósitos recentes de blocos que recobrem a encosta. A área de depósito desses blocos chegam até a ocupação (setas vermelhas); b) detalhe da proximidade do depósito de blocos com as edificações (fotografia: 2018).

Os diâmetros dos blocos variam de < 1 m até > 30 m (figura 6-20). Estes são provenientes dos picos da formação CT, predominando blocos de fonolito, mas ocasionalmente de rochas piroclásticas dessa mesma Formação. Essa é a unidade que apresenta a maior densidade de vegetação (figura 6-21).

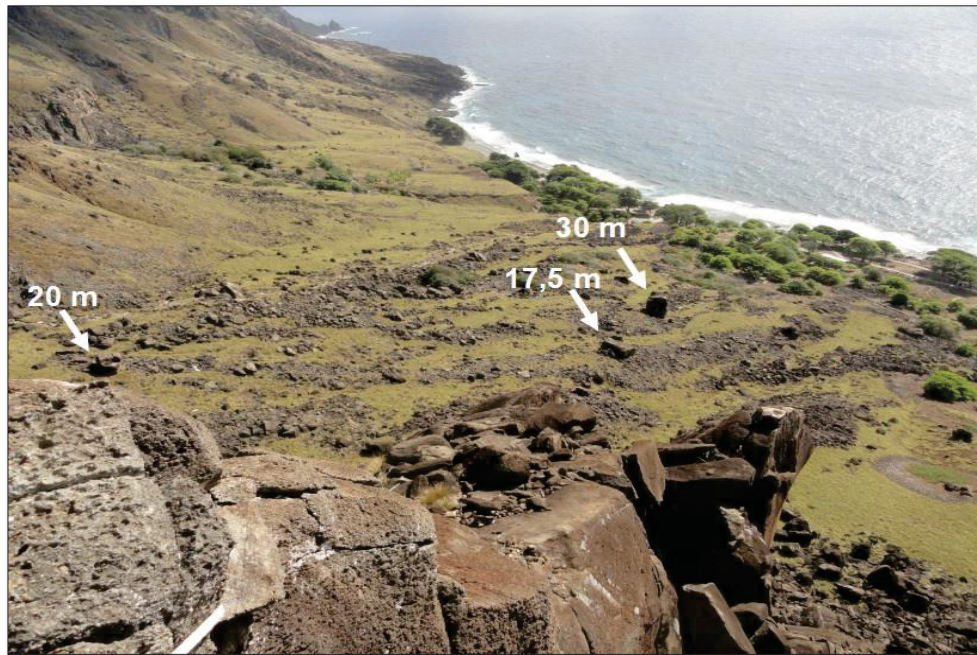


Figura 5-30: Panorâmica da encosta na qual os blocos se depositam. Os blocos com os maiores diâmetros estão indicados na imagem (fotografia: 2017).



Figura 5-31: Vegetação rasteira entre os depósitos de blocos (fotografia: 2018).

5.2.5 Unidade 4

As rochas que compõem os afloramentos rochosos da Unidade 4, são de composição fonolíticas, com grau de intemperismo baixo, grau de fraturamento alto, e apresentam três planos preferenciais de fraqueza, medidas em campo, que condicionam as quedas e tombamentos de blocos (Figura 6-22).

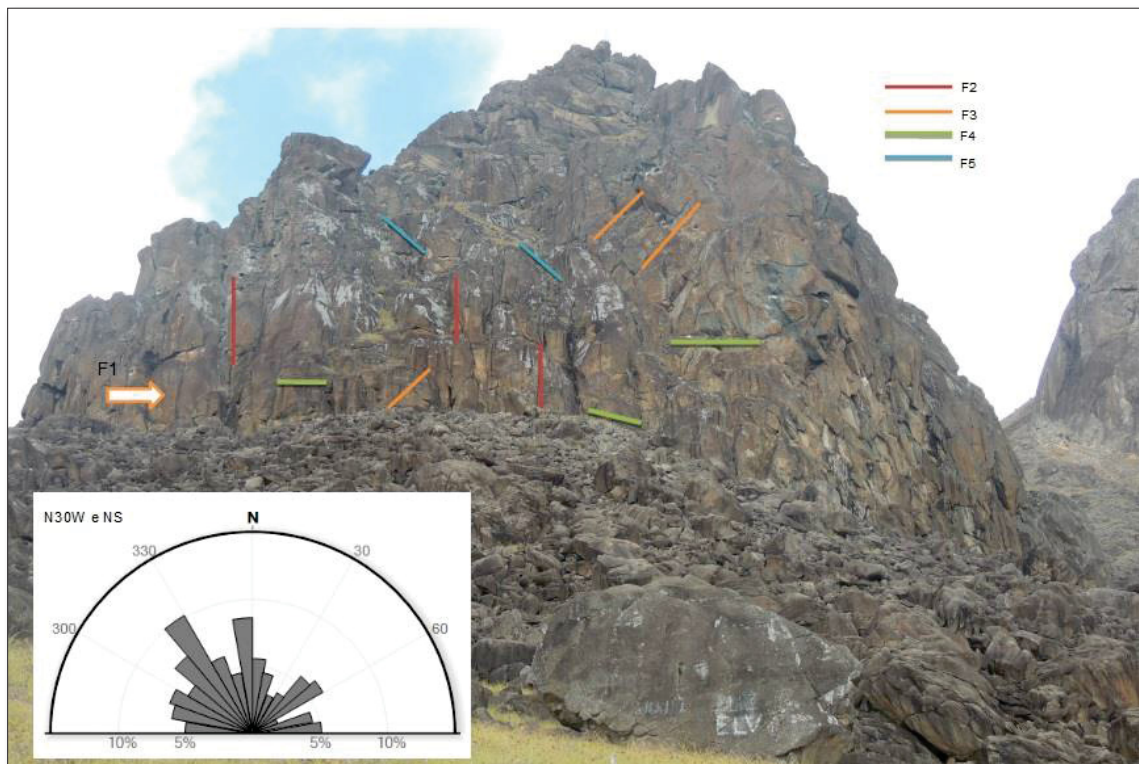


Figura 5-32: Na figura estão indicadas, no afloramento do Pico Preto, pelas linhas coloridas, as principais famílias de fraturas identificadas em campo, estas que apresentam uma direção preferencial NW (fotografia: 2018).

5.2.6 CONCLUSÕES

- Unidade 1 e 2: A base dos estratos nessas áreas é constituída por rochas epiclásticas sobrepostas por piroclásticas, nas quais as porções mal selecionadas, apresentam maior grau de intemperismo. As rochas do topo da sequência, os ankaratritos (nefelinitos) fraturados, mais resistentes aos processos intempéricos, permitem que a água percole com facilidade até os estratos inferiores. Portanto ocorre o processo de erosão diferencial, onde o tipo de rocha vulcânica e o grau de seleção, que no caso são as epiclásticas e piroclásticas, ambas mal selecionadas, os condicionantes de instabilidade nas encostas. Nessas unidades, a erosão intersulcos é intensa, principalmente nas épocas mais úmidas do ano, entre os meses de abril e junho, com média mensal de 110 mm, sendo que chuvas com intensidade de 12 mm em um intervalo de 12 horas, já são suficientes para ativar esse processo conforme observado em campo;
- Na área de estudo onde predomina os depósitos de tálus do Complexo Trindade ocorre menos processos erosivos lineares, provavelmente pelo fato dos blocos de rocha funcionarem como um enrocamento natural;
- A unidade 3 é a zona mais estável e com a maior cobertura vegetal, no entanto devido ao relevo íngreme da encosta, a sobreposição de depósitos de tálus (constituído por blocos com diâmetro de até 30 m) existe a possibilidade de instabilização do conjunto. Devido ao fato da direção preferencial dos depósitos coincidirem com as edificações, a atual ocupação da ilha está em condições de riscos perante esse cenário;

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O inventário elaborado no presente estudo, teve o intuito de servir como base e apoio técnico para a continuidade das investigações geológicas-geotécnicas, nas bacias hidrográficas (Desejado, Almirante, Cabritada e Morro Vermelho) que englobam a ocupação, visto que os resultados corroboram para o fato da ocupação estar em situação vulnerável frente aos processos naturais erosivos e de movimentos de massa gravitacionais.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, R.J.; SOUZA, MC.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; FERNANDES, L.A.; GUEDES, C.C.F.; OLIVEIRA, L.H.S.; MANZOLLI, R.P; DISARÓ. S.T.; FERREIRA, A.G.; MARTIN, C.M. 2018 Quaternary sealevel changes and coastal evolution of the Island of Trindade, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 84:208-222.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1961. Geologia e petrologia da Ilha de Trindade. Rio de Janeiro: Div. Geol. Miner. DNPM, mapa. (Monogr. XVIII), 198 p.
- ALMEIDA, F.F.M. 1963. Mapa Geológico da Ilha da Trindade. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, monografia XVIII, 1 mapa geológico, escala 1:10.000.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 2002. Ilha de Trindade, registro de vulcanismo cenozoico no Atlântico Sul, In: Schobbehaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbet, B.M. (Org.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Brasília: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. p. 369 – 377.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terra e Didática*, 2(1): 3-18.
- ALVES, R.J.V. 1998. Ilha da Trindade e Arquipélago Martim Vaz: um ensaio geobotânico. Rio de Janeiro, Serviço de Documentação da Marinha, 144p.
- ALVES, R.J.V.; MARTINS, L.S.G. 2004. Restabelecimento de espécies endêmicas da Ilha da Trindade. *Revista Albertoa. Série Proteção Ambiental nº03*. Rio de Janeiro, 45-52 p.
- ARYES, Q.C. 1936. Soil Erosion and its control. 1. ed. New York, London: McGraw-Hill. 365 p.
- AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; MARUI, H.; KANNO, T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility

mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81: 432– 445.

BARROS, J. A. L. de. 1959. Relatório prévio sobre a expedição João Alberto à ilha da Trindade. Rio de Janeiro. 75 p.

BANERJEE, P.; GHOSE, M. K.; PRADHAN, R. 2018. Analytic hierarchy process and information value method-based landslide susceptibility mapping and vehicle vulnerability assessment along a highway in Sikkim Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 139.

BARTH, O. M.; ALVAREZ, C. E. 2012. Rudolf Barth: um cientista pioneiro na Ilha da Trindade. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* (Impresso), 19: 969-992.

BUENO B.S., Vilar O. M. 1998. Mecânica Dos Solos – Volume I. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo.

CARVALHO, J. A. R. 2015. Movimento de massa gravitacionais: conceitos, tipos e macanismos. In: Zuquette, L. V. *Geotecnia Ambiental*. 2015. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. p. 83-112.

CORDANI, U. G. 1970. Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. São Paulo: Instituto de Geociências e Astronomia, Boletim IGA, 1, 9-75 p.

CLEMENTE, E.P.; SCHAEFER, C.E.; OLIVEIRA, F.S.; ALBUQUERQUE, F.M.R.; ALVES, R.J.V.; FIRME, S.M.M.; MELO, V.F.C.; CORRÊA, G.R. 2009. Topossequência de solos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Online), 33: 1357-1371 p.

CLEMENTE, E.P.; SCHAEFER, C.E. ; OLIVEIRA, F.S. . 2011. Proposta de Zoneamento Ambiental para a Ilha da Trindade (ES). *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* (Embrapa Solos. Online), 171: 1-28 p.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. 1996. Landslide types and process. In: Turner, A.K.; Schuster, R. L. (eds). Landslides. Investigation and mitigation. Special report 247, Ch.3. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C, USA. p. 35-75.

DAHL, P. M.; MORTENSEN, E. L.; JENSEN, N.H. 2010. A simple qualitative approach for mapping regional landslidesusceptibility in the Faroe Islands. Nat. Hazards Earth, 10: 159–170.

DUARTE, R.H.; HORTA, G.C.M.M. 2012. Barth e a ilha da Trindade 1957-1959. História, Ciências, Saúde-Manguinhos (Impresso), 19: 951-968.

ELLISON, W. D. 1947. Soils erosion studies Part 1. Agricultural Engineering. V.28, nº 04.145 – 146 p.

GARRARD, A.C.1922. The worst journey in the world Antartic 1910 -1913. Lodon: Constable and Company LTD, 581 p.

HERNÁNDEZ, M. F.; PAREDES, C.; CASTEDO,R.; LLORENTE, M.; VEGA-PANIZO, R. 2012. Rockfall detachment susceptibility map in El Hierro Island, Canary Islands, Spain. Nat Hazards: 64:1247–1271.

KOULI, M.; LOUPASAKIS, C.; SOUPIOS, P.; ROZOS. D.; VALLIANATOS, F. 2014. Landslide susceptibility mapping by comparing the WLC and WofE multi-criteria methods in the West Crete Island, Greece. Environ Earth Sci 72:5197–5219 p.

LOBO, B., 1919. Conferencia sobre a ilha da Trindade. Arquivos do Museu Nacional, V 22: 105-169 p.

MARINHA DO BRASIL. 2014. Comando do 1º Distrito Naval. Disponível em: <https://www1.mar.mil.br/com1dn>. Acessado em: 15 de maio de 2018

MARINHA DO BRASIL. 2017. Comando do 1º Distrito Naval. Disponível em: <https://www1.mar.mil.br/com1dn/poit>. Acessado em: 20 de maio de 2017.

MASSAD, F. 2016. Mecânica Dos Solos Experimental. Oficina de Textos, 34- 36 p.

MAYER, E.M., 1957. Trindade, ilha misteriosa dos trópicos. Livraria Tupã Editora, Rio de Janeiro, 159 p.

MUREAU, M. M. L. A., 1797. Voyage de La Pérouse autor du mond. Paris, 2: 26-29. PEJON, J.O.; FERREIRA, M.D. 2015. Mapas geotécnicos e geoambientais. In: Zuquette, L. V. Geotecnia Ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. p. 47 – 79 p.

FILHO, A. R.; [BEEK, K. J.](#) 1995. [Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras](#). 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 65 p.

PIRES, G.L.C., AND BONGIOLO, E.M. 2016. The nephelinitic - phonolitic volcanism of the Trindade Island (SouthAtlantic Ocean): Review of the stratigraphy, and inferenceson the volcanic styles and sources of nephelinites: Journalof South American Earth Sciences. V. 72. 49–62 p.

ROTTA, C. M. S.; ZUQUETTE, V. L. 2015. Processos erosivos. In: Zuquette, L. V. Geotecnia Ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 115-152p.

TSANGARATOS, P.; LOUPASAKIS, C.; NIKOLAKOPOULOS,K.; ANGELITSA,V.; ILIA, L. 2018. Developing a landslide susceptibility map based on remotesensing, fuzzy logic and expert knowledge of the Island of Lefkada, Greece. Environmental Earth Sciences, 77:363p.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION – UN/ISRD. 2017. Terminology. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>>. Acessado em: 20 de julho de 2017.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 2004. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html> Acessado em: 20 de julho de 2017.

SANTOS, A. N., MOHRIAK, W.U.; GERALDES, M.S.; SANTOS, W. H.; PONTE-NETO, C. M. STANTON, N. 2018. Compiled potential field data and seismic surveys across the Eastern Brazilian continental margin integrated with new magnetometric profiles and stratigraphic configuration for Trindade Island, South Atlantic, Brazil. INTERNATIONAL GEOLOGY REVIEW , v. 1, 1-17 p.

SALOMÃO, F. X., IWASA, O. Y. 1995. Erosão e ocupação rural e urbana. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. ABGE/IPT/ DIGEO. 31-57p.

SILVA, R. F.; MARQUES, R.; GASPAR. J.L. 2018. Implications of Landslide Typology and Predisposing Factor Combinations for Probabilistic Landslide Susceptibility Models: A Case Study in Lajedo Parish (Flores Island, Azores—Portugal). Geosciences. 8: 153 p.

STRAHLER, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transactions: American Geophysical Union 38: 913-920 p.

VARNES, D.J.1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, Natural Hazards. UNESCO, Paris. 63 p.

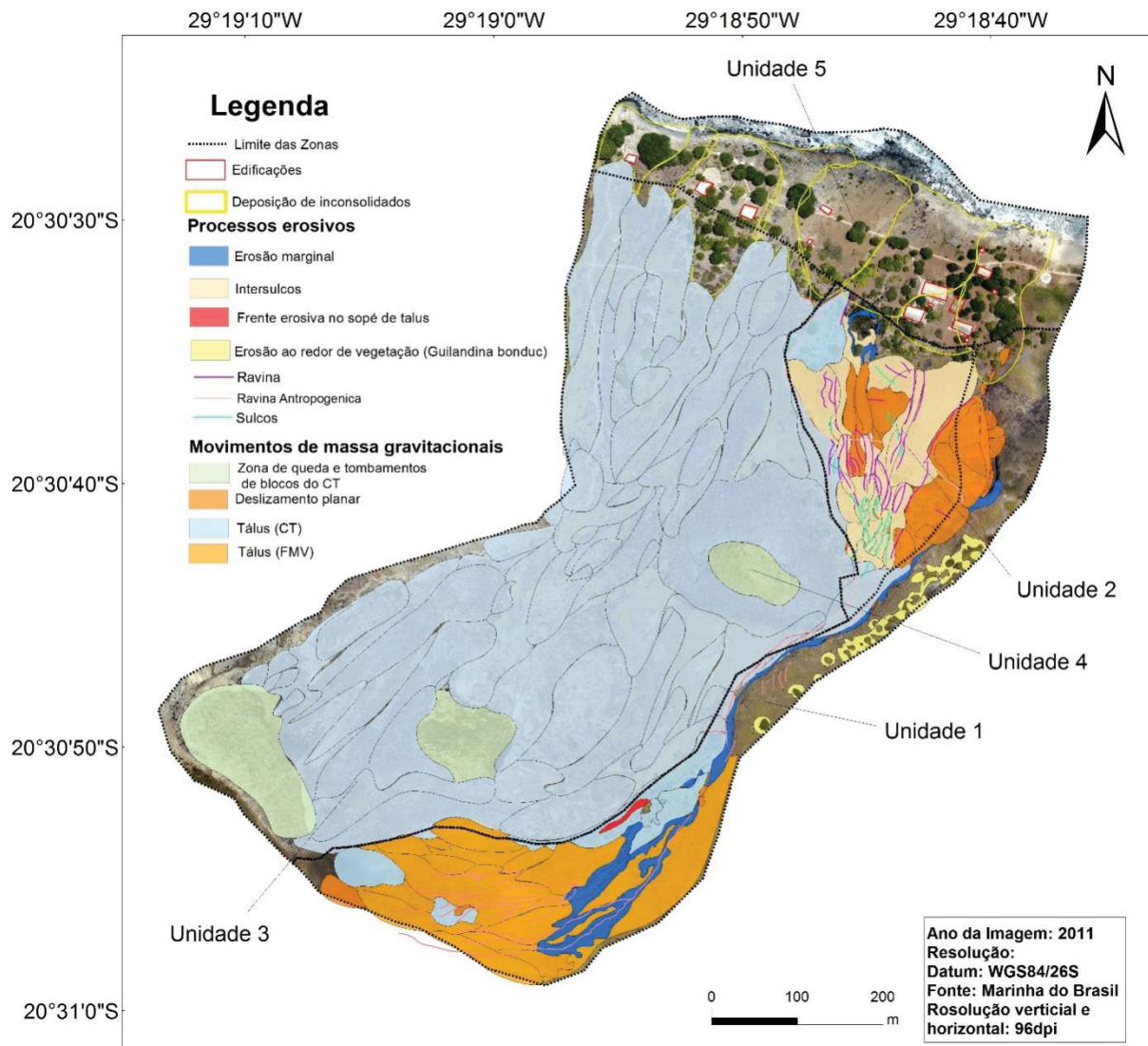
VENTISETTE. C. del; G. RIGHINI¹, S. MORETTI, N. CASAGLI. 2014. Multitemporal landslides inventory map updating using spaceborneSAR analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 30: 238–246 p.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. 2004 Cartografia geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos, 190 p.

ZUQUETTE, L. V. 2015. Aspectos conceituais e abrangências do tema. In: Zuquette, L. V. Geotecnia Ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 1-12 p.

ZUQUETTE, L. V. 2018. Riscos, desastres e eventos perigosos: fontes de eventos perigosos. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 302 p.

ANEXO 2: MAPA DE INVENTÁRIO DE FEIÇÕES EROSIVAS E MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS



ANEXO 3: MAPA DE INVENTÁRIO DE COBERTURA VEGETAL

